



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUT OF MANAGEMENT

OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU POMOCÍ DISKRÉTNÍ SIMULACE

PRODUCTION PROCESS OPTIMIZATION THROUGH DISCRETE EVENT SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN HOLUBÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF ŠUNKA, Ph.D.

BRNO 2013

Tato verze diplomové práce je zkrácená (dle Směrnice děkana č. 2/2013).
Neobsahuje identifikaci subjektu, u kterého byla diplomová práce zpracována (dále jen „dotčený subjekt“) a dále informace, které jsou dle rozhodnutí dotčeného subjektu jeho obchodním tajemstvím či utajovanými informacemi.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Holubík Jan, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Optimalizace výrobního procesu pomocí diskrétní simulace

v anglickém jazyce:

Production Process Optimization through Discrete Event Simulation

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Cíl práce, popis zvolených metod a postup zpracování

Teoretická východiska práce

Analýza současného stavu

Vlastní návrhy řešení a ověření návrhu diskrétní simulací

Zhodnocení navrhovaného řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

- DLOUHÝ, M., et al. Simulace podnikových procesů. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2007. 201 s. ISBN 978-80-251-1649-4.
- PELÁNEK, R. Modelování a simulace komplexních systémů. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita Brno: Olprint Šlapanice, 2011. 233 s. ISBN 978-80-210-5318-2.
- BANGSOW, S. Manufacturing simulation with Plant Simulation and Simtalk: usage and programming with examples and solutions. Berlin: Springer, 2010, 297 s. ISBN 36-420-5074-3.
- PERNICA, P. Logistika pro 21. století: (supply chain management). 1. vyd. Praha: Radix, 2005, 569 s. ISBN 80-86031-59-4.
- LIKER, J. K. The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004, 330 s. ISBN 00-713-9231-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Šunka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

L.S.

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Ředitel ústavu

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Děkan fakulty

V Brně, dne 20.05.2013

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím diskretní simulace jako nástroje pro podporu rozhodování ve výrobním procesu dané firmy, a to za použití simulačního softwaru Plant Simulation. Práce pojednává o problematice modelování a simulace podnikových procesů. Srovnává dvě varianty nové koncepce dodávání dílů z procesního pohledu a podává konkrétní návrh řešení včetně ekonomického zhodnocení.

Abstract

The diploma thesis deals with using discrete event simulation as a tool for supporting decision-making process in the company with usage of simulation software Plant Simulation. This work briefly introduces business process modeling and simulation problems. In the diploma thesis there two varieties two varieties of supplying parts, compared with each other in a process view and there is a particular proposal solution, including the economical evaluation.

Klíčová slova

Simulace, optimalizace, proces, modelování, Plant Simulation.

Key words

Simulation, optimization, process, modeling, Plant Simulation.

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

HOLUBÍK, J. *Optimalizace výrobního procesu pomocí diskrétní simulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2013. 101 s. Vedoucí práce Ing. Josef Šunka, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Šunkovi, Ph.D. za vedení a pomoc při přípravě a realizaci mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat pánům Ing. Jiřímu Štočkovi, Ph.D. a Ing. Vladimíru Karpetovi, za obětovaný čas a cenné rady a připomínky při tvorbě mé práce.

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Vymezení problému a cíle práce	12
3	Teoretická východiska	13
3.1	Výroba.....	13
3.2	Řízení výroby	14
3.3	Logistika.....	15
3.3.1	Logistika v průmyslu	17
3.3.2	Základní principy logistického řízení	24
3.4	Modelování a simulace	26
3.4.1	Modelování	26
3.4.2	Druhy modelů:	27
3.4.3	Proces tvorby modelu	27
3.4.4	Rozdělení modelů	28
3.5	Simulace.....	30
3.5.1	Využití simulace	32
3.5.2	Simulační programy.....	32
3.5.3	Použité programy a nástroje	33
3.6	O společnosti ŠKODA AUTO a.s.....	36
3.6.1	Výrobní závody.....	Chyba! Záložka není definována.
3.6.2	Export.....	Chyba! Záložka není definována.
3.6.3	Výroba	Chyba! Záložka není definována.
3.6.4	Zásobování linky JIS dodavateli.....	Chyba! Záložka není definována.
4	Analytická část.....	37
4.1	Zavážení dílů	37
4.1.1	Současný koncept	37
4.1.2	Nový koncept.....	37
4.1.3	Vazby mezi prvky systému a jejich stručná charakteristika	39
4.2	Sběr dat.....	40
4.3	Analýza získaných dat.....	41
4.3.2	Analýza původních dat	43
4.3.3	Analýza modelového mixu A	49

4.3.4	Analýza modelového mixu B	52
4.3.5	Analýza modelového mixu C	54
5	Modelování a simulace	56
5.1	Model	56
5.1.1	Vytvoření modelu v Plant Simulation	56
5.1.2	Experimentování s modelem	60
6	Ekonomické zhodnocení	65
6.1	Modelový mix A	67
6.2	Modelový mix B	67
6.3	Modelový mix C	68
6.4	Návrh vhodné varianty	68
7	Závěr	70
8	Zdroje	71
8.1	Literatura	71
8.2	Elektronické zdroje	73
9	Seznam obrázků, tabulek a grafů	75
10	Přílohy	76

1 Úvod

Dělat správná rozhodnutí ohledně směřování vývoje výrobního procesu je jedním z klíčových faktorů úspěchu firem. Tlak konkurence a zvyšující se požadavky zákazníků nutí společnosti stále inovovat, zlepšovat, předhánět konkurenci. Jak jednoduché by rozhodování bylo, kdyby vedení firmy předem vědělo, jaký bude mít které rozhodnutí dopad, jak se která skutečnost v budoucnosti projeví? Přesně předpovědět budoucnost samozřejmě není možné. Co již ale moderní technika umožňuje, je na základě současných a historických dat a s příslušnými nástroji testovat vývoj daných skutečností. Jedním z velmi užitečných nástrojů k tomuto účelu jsou diskrétní simulace.

V průběhu této práce jsem měl možnost se přesvědčit o slovech Dlouhého (2007), který shledává simulační programy uživatelsky stále přívětivějšími, kdy programování je do maximální míry nahrazováno operacemi s předem definovanými objekty v uživatelsky přátelském grafickém prostředí. Na vysoké úrovni jsou rovněž animace simulovaného systému a široká paleta grafických výstupů. Nejdůležitějším prvkem celé simulace však není samotný program ani šikovnost specialisty, jsou to informace – data, která jsou do modelu vkládána.

Schopnost efektivního řízení změn procesů je klíčem k úspěchu i v automobilovém průmyslu. Výrobci automobilů a potažmo také jejich dodavatelé jsou nuceni stále více zkracovat průběžné časy a snižovat výrobní náklady. Proti tomu však jde zvyšování nároků zákazníků co do kvality, rozmanitosti variant a doplňků i dalších souvisejících služeb. Stále více společností proto implementuje techniky moderního řízení výroby, jako jsou JIT¹ a principy štíhlé výroby, jejichž součástí je i soustavné zlepšování procesů.

Není těžké si představit, že při soustavném zlepšování, kdy je prováděno mnoho složitých změn v krátkém časovém úseku, hrozí riziko velkých ztrát v důsledku chyb při realizaci takových změn. Podstatné snížení rizika díky ověření, že prováděná změna skutečně povede k očekávaným výsledkům, nabízí právě simulace.

text je součástí tajné verze

¹ Just-In-Time (viz kapitola 3.3.1.8.)

2 Vymezení problému a cíle práce

V práci je řešena změna konceptu dodávek sledovaného dílu na montážní linku. Doposud byl na lince produkován pouze jeden výrobek. V navrhovaném konceptu však již budou montovány dva různé modely, které vyžadují dodávky sledovaných dílů od dvou různých dodavatelů.

Cílem práce je pomocí diskrétní simulace ověřit funkčnost konceptu a navrhnout variantu řešení, které je z pohledu stability procesu a ekonomiky zvoleného řešení za daných vstupních podmínek tou nejvhodnější. Jako nástroj pro podporu rozhodování bude použit simulační software Plant Simulation. Pro potřeby analýz vstupních dat bude použito nástroje APP (Analyzer of production processes)².

Dílčími kroky pro dosažení cíle práce jsou:

- Analýza současného stavu,
- analýza prognózovaných variant modelového mixu, který bude v budoucnu montován na této lince,
- vytvoření simulačního modelu,
- ověření navrhovaných variant konceptu,
- podání konkrétního návrhu včetně ekonomického zhodnocení z hlediska nákladů.

² viz kapitola 3.5.3.2.

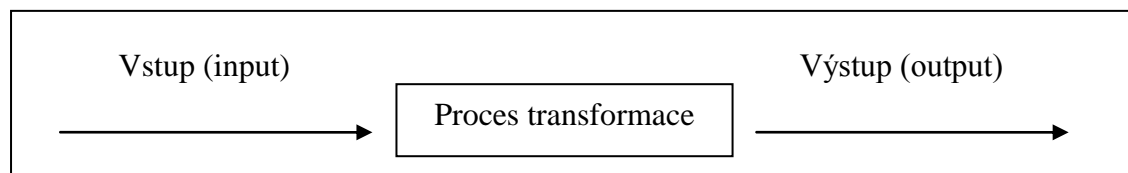
3 Teoretická východiska

Vzhledem k tomu, že je diplomová práce zaměřena na simulaci a optimalizaci výrobního procesu, vychází především ze znalostí v oblasti procesního řízení, analýzy, modelování a samozřejmě diskretních simulací. Následující kapitola je proto věnována termínům souvisejícím s chápáním výrobních procesů a problematikou modelování a simulace.

3.1 Výroba

Výrobu lze definovat jako transformaci výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které pak procházejí spotřebou (Keřkovský, 2009, s. 1). Podle Tomka (2000) slouží obecně k vytváření materiálních i nemateriálních statků odpovídajících tržní poptávce. Vytvořené statky neboli produkované zboží jsou spojeny s konkrétním výstupem (output). Takovýto výstup vzniká obvykle podrobením vstupních faktorů (input) transformačnímu procesu. Jestliže má tento proces přispět k žádoucí přeměně materiálu v konečný produkt, vyžaduje ke své realizaci účast lidských výkonů – pracovní síly – a podnikových prostředků jako jsou stroje, nástroje, přípravky, počítače atp. (Tomek, 2000, s. 17)

Princip lze vyjádřit schématem:



Obrázek 1: Princip procesu vstup-výstup
(upraveno dle Tomek, 2000 str. 17)

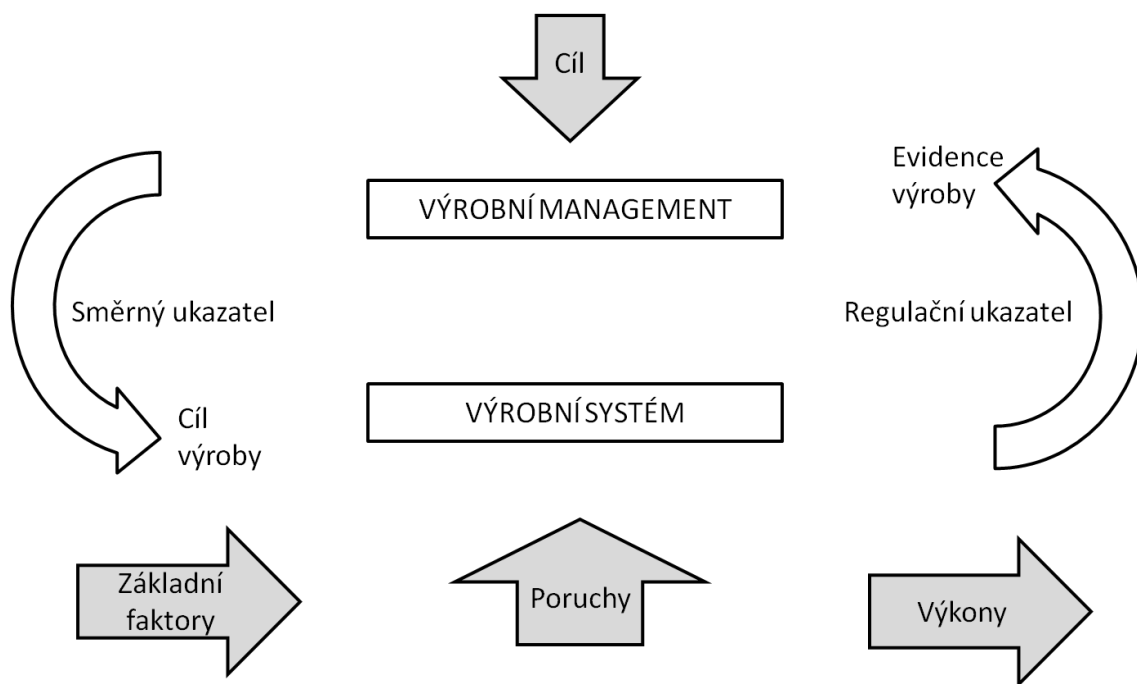
Keřkovský (2009) dodává, že z čistě ekonomických a společenských hledisek by mělo být cílem výroby dosažení stavu, kdy jsou všechny zdroje využívány efektivně, v širším pojetí lze tedy efektivnost chápat jako vyloučení plýtvání s omezenými zdroji. Odstraňováním plýtvání se zabývá řada teorií, které jsou s přicházejícími novými znalostmi neustále zdokonalovány. O těchto teoriích pojednává práce v části věnované logistice.

3.2 Řízení výroby

Řízení výroby je zaměřeno na dosažení optimálního fungování výrobních systémů s ohledem na vytyčené cíle (Keřkovský, 2009, s. 3). Dle Svozilové (2011) je řízení činností, jež využívá znalostí, schopností, metod, nástrojů a systémů k tomu, aby identifikovala, popisovala, měřila, řídila, hodnotila a zlepšovala procesy se záměrem efektivního pokrytí potřeb zákazníka.

Jedná se o systém pojmů a nástrojů výrobního managementu, který umožňuje řešit celou řadu různých úkolů, pro jejichž zpracování jsou zpravidla nutné informace týkající se vyráběného množství, termínů zadávání či odvádění jednotlivých dávek a operací. Umožňuje také porovnání plánu a skutečnosti a činí příslušná rozhodnutí (Tomek, 2000, s. 17-18).

Vztah mezi managementem výroby a vlastním fyzickým procesem zachycuje následující obrázek.

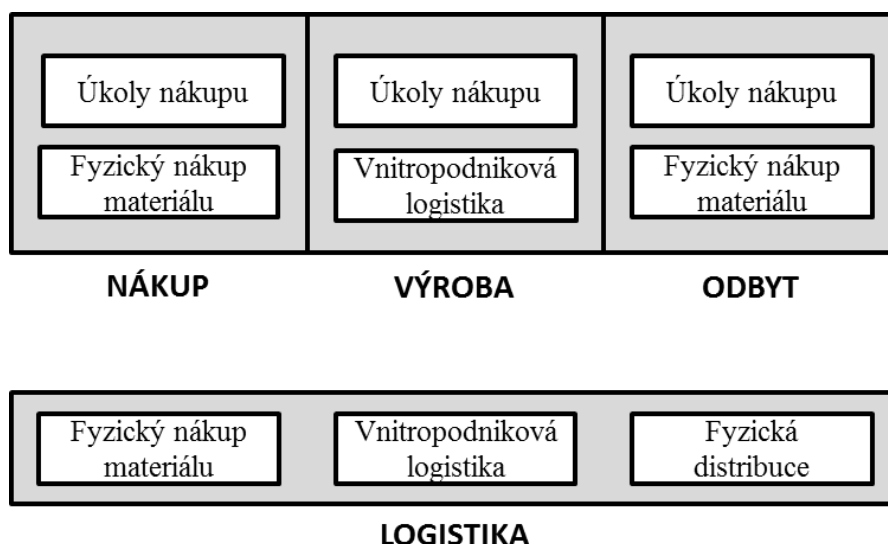


Obrázek 2: Vztah managementu a fyzického procesu při řízení výroby
(upraveno podle Tomek, 2000, s. 18)

V rámci rozsáhlého způsobu realizace výkonů se nejedná pouze o řízení vnitropodnikového pohybu materiálu a zboží, ale také o řízení pohybu materiálu od dodavatelů do podniku a na příslušná pracoviště, stejně jako výrobků či polotovarů

z pracovišť a podniku k zákazníkovi (Tomek, 2000, s. 18). Právě veškerým pohybem materiálu, polotovarů a výrobků se zabývá logistika.

Zejména na operativní úrovni dochází k velmi těsnému spojení mezi managementem výroby a logistikou, kde se jedná o bezprostřední vazbu na hmotný tok. Souvislosti je možné vysledovat z následujícího obrázku:



Obrázek 3: Vztah řízení výroby a logistiky
(upraveno podle Tomek, 2000, s. 19)

3.3 Logistika

Lambert (2005) se v úvodu své knihy vyjadřuje o logistice jako o velmi širokém oboru, jenž ve velké míře ovlivňuje životní úroveň společnosti. Že se jedná o skutečně velmi široký obor, dokazuje také definice logistiky podle americké organizace The Council of Supply Chain Management Professionals³ (2013), dále jen CSCMP, která říká, že logistika zahrnuje plánování a řízení všech činností souvisejících se získáváním a zadáváním zakázek, transformací zdrojů a dalšími aktivitami logistického řízení. Dále se zabývá koordinací spoluprací s logistickými partnery, ať už dodavateli, zprostředkovateli, třetími stranami nabízejícími další služby nebo zákazníky. V podstatě tedy integruje řízení nabídky a poptávky uvnitř a napříč celou společností.

Jinak řečeno je logistika disciplína, která se zabývá sladováním (koordinací, synchronizací a celkovou optimalizací) všech aktivit v rámci samoorganizujících se

³ do roku 2004 The Council of Logistics Management (pozn. autora)

systemů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu. Logistický systém má zákaznický orientované chování. Dodavatelské podsystémy se v něm musejí přizpůsobit odběratelským podsystémům (Pernica, 2005, s. 128 - 142).

Keřkovský (2009) sice píše, že logistika jakožto filozofie řízení materiálového a informačního toku je velmi rychle se rozvíjejícím oborem, podstata spočívající v známém pojetí logistiky jako 7S však podle mnoha autorů zůstává neměnná.

Logistika se zabývá dodáním (podle CSCMP):

- Správného výrobku,
- ve správném množství,
- ve správném čase,
- ve správné kvalitě,
- na správné místo,
- správnému zákazníkovi,
- za správné náklady.

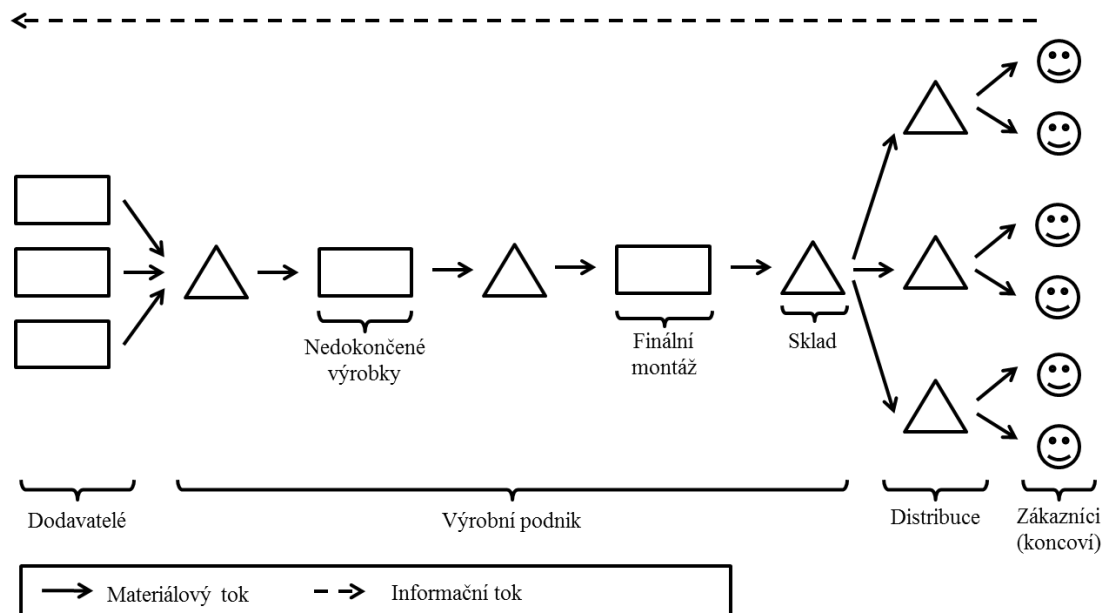
Pernica (2005) označuje všechny, kdo se přímo nebo nepřímo podílejí na uspokojování logistických potřeb, za subjekty logistiky. Mohou jimi být například (podle Pernici 2005):

- Výrobci hmotného zboží, poskytovatelé služeb,
- distributoři,
- obchodní společnosti,
- poskytovatelé logistických služeb,
- zasílatelé, dopravci, operátoři,
- poskytovatelé kurýrních, expresních a balíkových služeb,
- správci a provozovatelé liniových i uzlových částí logistické infrastruktury,
- dodavatelé technických prostředků a zařízení, technologií a systémů pro logistiku,
- orgány státní správy činné v oblasti logistiky,
- a jiné.

Jak je i v anglickém označení pro logistiku obsaženo⁴, klíčovým pojmem logistiky je logistický řetězec, který je chápán jako jednota jeho dvou stránek – hmotné a nehmotné. Hmotná stránka spočívá v přemísťování věcí (nebo osob), nehmotná stránka spočívá v přemísťování informací (přesněji: v přemísťování nosičů informací, resp. signálů, tj. zpráv a údajů obsahujících informace) potřebných k tomu, aby se přemístění věcí či osob mohlo uskutečnit. V obecné poloze uvažujeme o logistickém řetězci jako o provázané posloupnosti všech činností (aktivit), jejichž uskutečnění je nutnou podmínkou k dosažení daného konečného efektu, který má synergickou povahu (Pernica, 2005, s. 120).

Stadtler (2005) vysvětluje problematiku spíše z pohledu propojení více organizací, když říká, že v nejširším slova smyslu obsahuje logistický řetězec dvě a více oddělených organizací, které jsou propojeny materiálem a informačními a finančními toky. Těmito organizacemi mohou být firmy dodávající díly, komponenty, hotové výrobky, zajišťující logistické služby a dokonce sám koncový zákazník. Právě koncový zákazník přitom sehrává v logistickém řetězci velmi důležitou úlohu.

Příklad logistického řetězce Stadtler přikládá ke svému vysvětlení.



Obrázek 4: Příklad logistického řetězce
(upraveno podle Stadtler 2005, s. 10)

3.3.1 Logistika v průmyslu

⁴ Anglický pojem pro logistiku je Supply Chain Management (pozn. autora)

V průmyslové praxi se neustále setkáváme s novými a novými problémy či požadavky, které je nutné řešit. Právě díky tomu se objevují různé moderní principy a přístupy k řízení, jejichž cílem může být například ušetřit náklady či zkrátit průběžnou dobu výroby.

Teorie, které se svou podstatou dotýkají této práce nebo mají vliv na pochopení problematiky, budou stručně popsány v následujících několika odstavcích.

3.3.1.1 MRP (Material Requirement Planning)

Je koncept vyvinutý počátkem 60. let v USA do češtiny překládaný jako „plánování materiálových potřeb výroby“. Zaměřuje se převážně na řízení zásob materiálu. Na rozdíl od do té doby využívaného řízení zásob dle norem je tento systém založen na adresném objednávání materiálu dle skutečných potřeb výroby. (Keřkovský, 2009, s. 63). Ve všech případech je základem pro vyhodnocení potřeb tzv. kusovník (BOM – Bill of Material), který udává kolik a jakých komponent je pro každý vyráběný díl potřeba. (Vařura, 2002, s. 52)

Při aplikaci MRP téměř vždy dojde ke snížení objemu vázaných oběžných prostředků a ke snížení nákladů na pořízení a udržování zásob. Nevýhodou systému může být fakt, že plánování materiálu vychází pouze z hrubého rozvrhu výroby a nebere v úvahu skutečný průběh výroby (Keřkovský, 2009, s. 64).

3.3.1.2 MRP II (Manufacturing Resource Planning)

Česky „plánování výrobních zdrojů“ je zdokonalením systému MRP především směrem k těsnějšímu propojení objednávek materiálu s podrobnými rozvrhy výroby a s kapacitními propočty (Keřkovský, 2009).

Podle Pernici (2005) má dva hlavní cíle – maximální využití kapacit a zdrojů a plnění dodávek. Předpokladem pro jeho nasazení je dobrá komunikace se sběrem výrobních údajů a řízením výroby.

3.3.1.3 OPT (Optimized Production Technology)

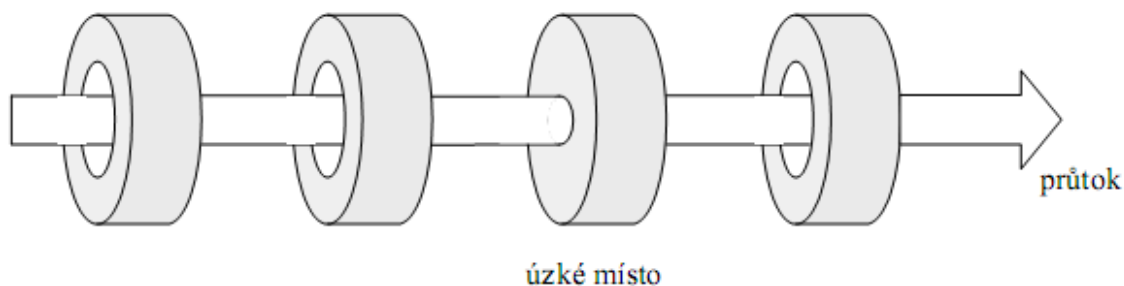
Koncept OPT byl vyvinut v 70. letech v USA a je zaměřen především na optimalizaci výrobních toků maximálním využíváním kapacit úzkoprofilových

pracovišť⁵ (bottlenecks). Vychází z předpokladu, že výkonnost výrobního systému určují úzkoprofilová pracoviště. Proto také za hlavní přínos tohoto systému je považováno celkové zvýšení průchodnosti podniku (Keřkovský, 2009, s. 69).

Hlavními cíli při použití OPT jsou maximalizace zisku a průtoku a minimalizace zásob a provozních nákladů. Důležitými předpoklady pro nasazení systému shledává Pernica (2005) zejména synchronizaci ve výrobě, existenci zásobníků u úzkých míst a kontinuální vyhodnocování úzkých i „normálních“ pracovišť.

3.3.1.4 TOC (*Theory of Constraint*)

Tato metoda souvisí s výše zmiňovaným OPT, a to především ve vnímání „úzkých míst“ podniku. Základem celého systému je jednoduchá úvaha, že v podniku je v daném okamžiku vždy jedno nebo více omezení, které brání dosahování maximalizace průtoku (Basl, 2003, s. 35). Dobře tuto skutečnost znázorňuje následující obrázek:



Obrázek 5: Jak „úzké místo“ určuje velikost průtoku v podniku
(zpracováno podle Basl, 2003, str. 35)

V tomto případě je nejdůležitější, že úzké místo určuje průchodnost celým podnikem. Proto je nasnadě hlavní cíl této koncepce, a tím je zvýšení průchodnosti podniku. Při rozhodování je pak nejdůležitější mít na paměti, že ztracený čas na „úzkém místě“ je ztrátou celého systému, kdežto ušetřený čas na „neúzkém místě“ de facto nemá vliv na jeho průtok (Basl, 2003, s. 36).

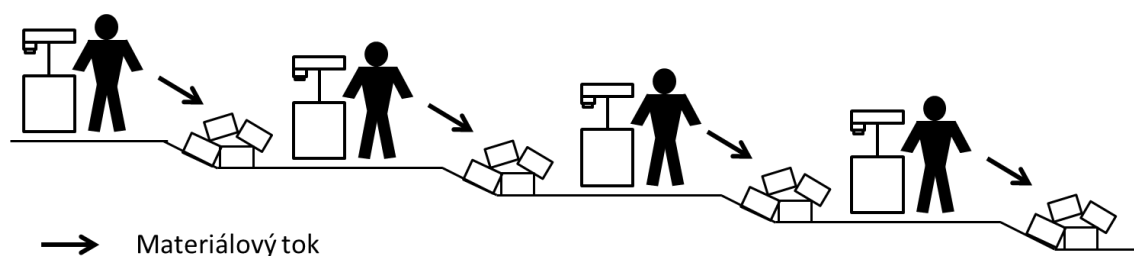
⁵ V literatuře častěji používaným českým překladem je „úzké místo“ či „úzké hrdlo“ (pozn. autora)

3.3.1.5 Princip tahu a tlaku

Na řízení výroby je také možno nahlížet podle toho, zda výrobek postupuje podnikem „tlačený“ od prvního pracoviště k poslednímu nebo zda je výrobní proces „tažen“ pozpátku napříč výrobním procesem. Těmto dvěma přístupům říkáme princip „push“ a „pull“ nebo-li „tahu“ a „tlaku“ (viz dál). Součástí principu tahu je další progresivní koncept řízení výroby označovaný jako JIT (just-in-time).

3.3.1.6 Princip tlaku (push system)

Hlavní znak principu tlaku spočívá v postupu materiálu výrobou od začátku do konce, a to jakmile je k dispozici. Z toho vyplývá, že povolení k výrobě je dáno v podstatě dostupností surovin a nákup materiálu je založen na předpovědi poptávky od zákazníků. Následkem této výrobní filozofie bývá v podniku často nadvýroba a zpoždění v dodávkách. Úzká místa se objevují nejčastěji tam, kde následující procesy nestíhají předcházející výrobě. Tlak na výrobu vzniká více v důsledku předcházející nadvýroby než na základě požadavků trhu (Productivity Press, 2008, s. 4; Liker, 2004, s. 141).



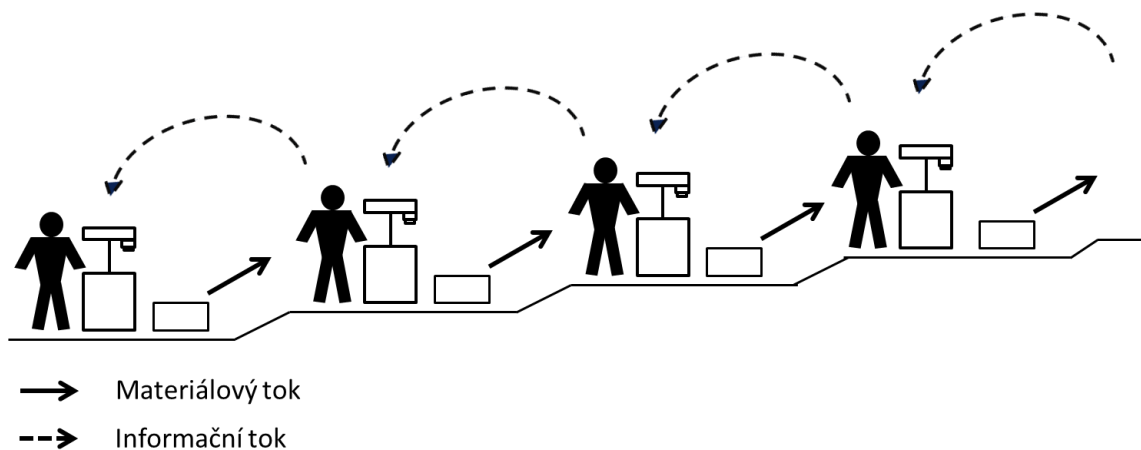
Obrázek 6: Push princip
(upraveno podle Keřkovský, 2009, s. 76)

3.3.1.7 Princip tahu (pull system)

Opačně je tomu u systému tahu, kde výrobu a odběr zásob spouští zákazník. Tah je vyvolán externím zákazníkem, výroba je spouštěna pozpátku napříč výrobním procesem buď následnou operací nebo interním zákazníkem každé operace. Jedná se o tržně orientovaný přístup k výrobě (Productivity Press, 2008, s. 4, Liker, 2004, s. 142; Liker 2006, s. 94).

Má 2 stránky (podle Productivity Press, 2008):

- V procesu výroby znamená produkci položek v závislosti na požadavcích nebo spotřebě zákazníka.
- V oblasti řízení materiálu představuje odebrání zásob podle požadavku operace, která materiál spotřebovává. Materiál není vydán do doby, než přijde signál od dalšího uživatele.



Obrázek 7: Pull princip
(upraveno podle Keřkovský, 2009, s. 76)

Výroba systémem tahu odstraňuje plýtvání, jež vzniká v důsledku tradiční výroby systémem tlaku.

3.3.1.8 JIT

Jednou z možností jak zefektivnit výrobní proces je zavedení systému JIT (just-in-time), jež lze považovat za soubor metod zaměřujících se na jeden nebo více typických zdrojů plýtvání. Základní ideou JIT je výroba pouze nezbytných položek v potřebné kvalitě, v nezbytných množstvích, v nejpozdějších přípustných časech (Keřkovský, 2009, s. 71).

JIT se zaměřuje na eliminaci pěti základních druhů ztrát, plynoucích z (podle Liker, 2004):

- Nadprodukce,
- čekání,
- dopravy nebo přemísťování, které nejsou nezbytné,

- nadměrné nebo nepřesné zpracování,
- nadbytečné zásoby,
- zbytečné pohyby,
- vady,
- nevyužitá tvořivost zaměstnanců.

Svozilová (2011) užívá místo „nevyužité tvořivosti zaměstnanců“ pojmu „intelekt“ a na rozdíl od Likera (2004) chápe tento bod jako plýtvání ve smyslu využívání „příliš kvalifikovaných“ operátorů, pokud lze operaci uzpůsobit pro obsluhu méně kvalifikovaným pracovníkem.

Součástí systému JIT je řada metod sloužících k odstranění nebo prevenci takového plýtvání jako například (podle Productivity Press, 2008):

- 5S – zaměřeno na plýtvání způsobené nepořádkem (např. nástroje, které nemají předem určené své místo uložení, špatně nebo vůbec neoznačené materiály a součástky, špatně značené bezpečnostní zóny a skladovací prostory atd.
- TPM – zabývá se problémem ztráty času a nákladů vztahujících se k neplánovaným odstávkám výrobního zařízení.
- Rychlé přednastavení – pomáhá snížit čas potřebný na změnu nastavení výrobního zařízení pro jiné specifikace produktu.
- Kanban – klíčový nástroj ve výrobě systémem tahu, odstraňuje nadvýrobu a rozpracované zásoby (viz dále).
- Metody zabezpečení proti chybám – odstraňují ztracený čas a náklady spojené s činnostmi vedoucími k chybným krokům.
- Standardizace – stanovuje standardní postupy pro každou výrobní operaci a podporuje jejich dodržování až do další fáze procesu zlepšování.
- Jidoka – česky „lidská automatizace“ je proces, který umožňuje pracovníkům zastavit linku, pokud dochází k vadám a zdroje těchto vad odstranit.

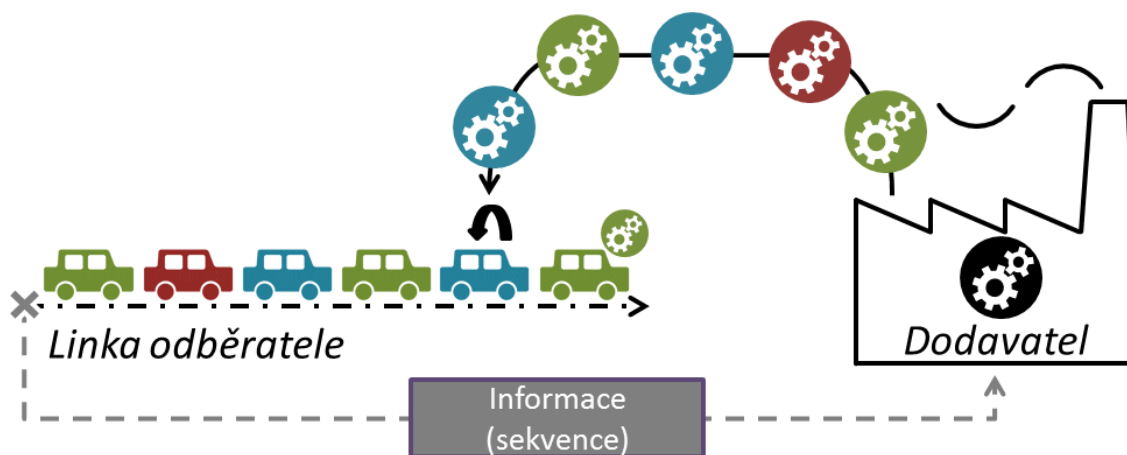
3.3.1.9 JIS (*just-in-sequence*)

Jako má MRP systém svého nástupce v podobě MRP II, dočkal se systém JIT své modifikace v podobě systému JIS (*just-in-sequence*).

Principy této metody, stejně jako u systému JIT, vytvořili finální výrobci automobilů ve snaze co nejvíce eliminovat nadbytečné zásoby komponent v montážním

závodě. Jedním z hlavních faktorů bezchybného fungování výroby automobilů produkující stovky aut denně je bezesporu odpovídající logistické zásobování komponent potřebných pro výrobu vozidel. Navíc v současné době, kdy má zákazník možnost nechat si vyrobit automobil takřkajíc „na míru“, nebude tvrzení, že každý vůz na montážní lince je unikát, daleko od pravdy. Pro výrobce je nevýhodné a často i nemožné skladovat takové množství různých komponent před montážní linkou, proto řešení nabízí právě koncepce Just-In-Time, respektive její modifikace Just-In-Sequence (Schwob, 2007).

V případě řízení JIS putují jednotlivé díly na linku přesně v pořadí, v jakém budou montovány (v dané sekvenci). Zjednodušeně ukazuje systém následující obrázek.



Obrázek 8: Systém JIS
(vlastní zpracování)

V případě automobilové výroby to znamená, že automobilka pošle dodavateli plán výroby s přesným pořadím montovaných vozidel a požadavky na moduly od dodavatele. Ten pak podle plánu vyrábí a dodává komponenty přímo na montážní linku přesně v určeném pořadí vyráběných vozů (Schwob, 2007).

3.3.1.10 Kanban

Tato metoda vyvinutá firmou Toyota Motors, je jinak také známá právě jako Toyota Production Systems (TPS). Lze ji označit za koncept velmi úsporný na zásoby, který se nejvíce používá ve strojírenské výrobě, zvláště pak v automobilovém průmyslu. Velmi dobře se tento systém osvědčil pro ty díly, které jsou používány opakovaně (Sixta, 2005, s. 241-242).

Metoda Kanban vychází ze šesti základních principů (podle Sixta, 2005):

- Fungují zde tzv. samořídící regulační okruhy, které tvoří dvojice článků (dodávající a odebírající) vzájemně propojené na základě pull principu (viz. výše).
- Objednacím množstvím zde je obsah jednoho přepravního prostředku, nebo jeho násobků, plně naplněného vždy konstantním množstvím materiálu.
- Dodavatel zde ručí za kvalitu a odběratel má povinnost objednávku vždy převzít.
- Kapacity dodavatele a odběratele jsou vyvážené a jejich činnosti jsou synchronní.
- Spotřeba materiálu je rovnoměrná bez velkých výkyvů a sortimentních změn.
- Dodavatel ani odběratel nevytváří žádné zásoby.

3.3.2 Základní principy logistického řízení

Pomocí výše popsaných metod se snaží podnik dosahovat logistických cílů, a to na základě aplikace dvou stěžejních principů (podle Lenort, 2012):

- Koncepce celkových nákladů,
- systémového přístupu.

3.3.2.1 Koncepce celkových nákladů

O koncepci celkových nákladů se Němec (2007) vyjadřuje jako o klíči k efektivnímu řízení logistického procesu. Podnik by se podle něj v tomto smyslu neměl zaměřovat na jednotlivé izolované logistické činnosti, ale měl by se pokoušet redukovat celkové náklady logistických činností. Snížení nákladů v jedné oblasti, například přepravy, může vyvolat zvýšení nákladů na udržování zásob, a to z důvodů pokrytí delší doby přepravy nebo zajištění se z důvodů nespolehlivosti přepravy.

Logistické náklady můžeme rozdělit do několika bloků (podle Lenort, 2012):

- Náklady na řízení a systém (plánování, kontrola hmotných toků apod.),
- náklady na udržování zásob,
- náklady na dopravu (včetně vnitropodnikové dopravy),
- náklady na manipulaci.

3.3.2.2 *Systémový přístup*

Systémovým přístupem označuje Vodáček (1997) účelový způsob myšlení či řešení problémů (jednání), kdy jsou zkoumané jevy a procesy chápány komplexně (celistvě) v jejich vnitřních a vnějších souvislostech. Pernica (2005) chápe systémový přístup jako směr myšlení, jehož filozofické základy spočívají na celostním vidění (na principu jednoty světa) a na principu neustálého pohybu, přeměn jednotlivých částí reality jako způsobu existence. Cílem při jeho aplikaci systémového přístupu je podle Vodáčka (1997) především pochopit, vhodně formulovat a pomoci řešit zkoumaný problém, resp. jeho části, a to v kontextu organizace, vnějšího prostředí, popř. odpovídajících procesů.

Jedním z klíčových pojmů systémového přístupu je pojem systém. Systémem rozumíme účelově definovanou množinu prvků a vazeb mezi nimi, jež vykazují jako celek určité vlastnosti resp. chování. (Vodáček, 1997, s. 43)

Řešení problému systémovým přístupem spočívá v posloupnosti několika na sebe navazujících kroků (podle Pernica, 2005, s. 121):

- Identifikace problému na daném objektu nebo vymezení objektu a stanovení cíle řešení,
- identifikace systému v objektu nebo zavedení systému na objektu,
- reprezentace systému modelem (modely), kvantifikace modelu (modelů),
- algoritmizace a provedení modelových výpočtů nebo simulací, modelových experimentů (experimentů s modely, experimentů na modelech),
- interpretace,
- implementace.

Klíčovým krokem celého postupu je modelování, a to zejména v podobě tvorby systému modelů, kdy jednotlivé modely (zkonstruované podle různých hledisek, pro různé systémy, podsystémy apod.) jsou navzájem propojeny prostřednictvím svých vstupů a výstupů, přičemž vazby mezi modely mohou být pružně zprostředkovány a modely syntetizovány subjektem řešitele (Pernica, 2005, s. 120 – 121).

3.4 Modelování a simulace

K pochopení zásadního významu modelování a simulací může pomoci tvrzení Dlaska (2011), že zkušenost je přeneseným ekvivalentem ceny za experiment v měřítku 1:1 a cena za tyto zkušenosti bývá obvykle velmi vysoká. Jak dále dodává, pro moderní pojetí řízení je také časový rytmus v realitě získávaných zkušeností příliš pomalý. V řadě případů je možné provést experiment ve zmenšeném měřítku nebo vytvořit maketu, ale i tato řešení bývají často velmi nákladná.

Jak Dlask (2011) dále uvádí, řešením může být sestavení počítačového modelu, které je časově náročné pouze z hlediska sběru vstupních údajů pro výpočet. Nejen, že samotný výpočet je při výkonnosti dnešních počítačů poměrně zanedbatelná záležitost, ale model rovněž podle Dlaska (2011) umožňuje lépe chápat vnitřní mechanismy úloh a především ověřit účinnost navrhovaných řešení pro zajištění budoucího vývoje.

Model mimo jiné umožňuje vrátit se k jeho parametrům a struktuře v budoucnosti v nových neočekávaných podmínkách. Disciplína modelování úzce souvisí s problematikou prognózování.

3.4.1 Modelování

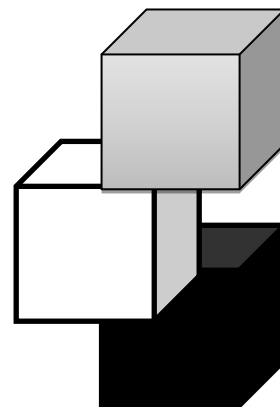
Proces je modelován jako struktura vzájemně navazujících činností, přičemž platí princip sémantické relativity, podle něhož může být obecně každá činnost samostatně popsána jako proces (Řepa, 2007, s. 71).

Jednotlivé činnosti zpravidla probíhají na základě nějakých definovaných podnětů, nikoli náhodně. Podnětem může být obecně jakákoli vnější či vnitřní skutečnost. Vnější podněty jakéhokoli druhu nazýváme událostmi, vnitřní podněty obvykle stavem procesu (Řepa, 2007, s. 72).

Je velmi důležité si uvědomit, že žádný model neodpovídá přesně realitě. Vždy je „pouze“ zjednodušením, abstrakcí reality. Dobrý model od špatného pak odděluje právě volba zjednodušení. Dobrý model nepodstatné aspekty skryje a vybírá ty důležité, čímž umožňuje lépe o realitě uvažovat (Pelánek, 2011, s. 48).

3.4.2 Druhy modelů:

- šedá skříňka
 - částečně známý obsah
- bílá skříňka
 - známý obsah, známá funkčnost
- černá skříňka
 - neznámý obsah, zaměřeno na vstupy/výstupy
 - neznalost vnitřní struktury



Obrázek 9: Systém JIS
(zpracováno podle Dlask, 2011, s. 74)

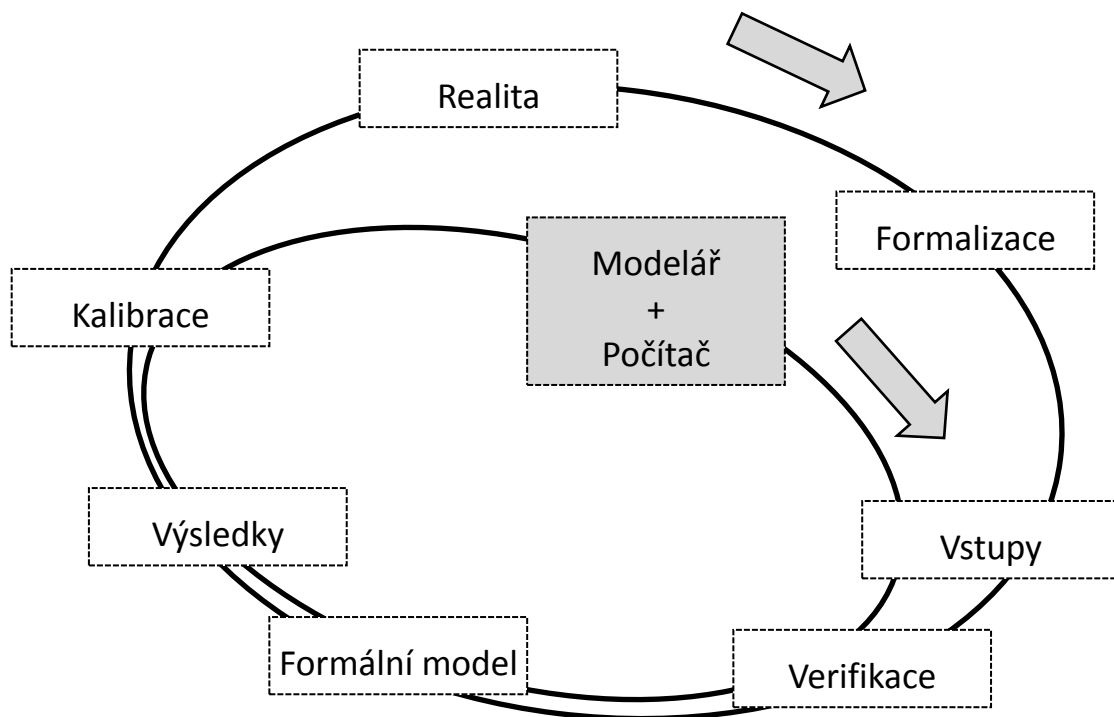
Abychom se v modelovaných úlohách dostali co nejblíže ideálu bílé skřínky, je třeba modelovanou skutečnost dobře zanalyzovat. K analýze může posloužit celá paleta nástrojů, vždy je však nutné získané výsledky správně interpretovat.

Jedním z hlavních principů modelování je: Nemodelovat systém, modelovat problém. Z toho tedy vyplývá, že aby byl model užitečný, musí mít jasný účel. Snaha udělat model co nepřesnější a nejvěrnější je jedním z velkých rizik modelování. Lépe se pracuje s jednodušším modelem zaměřeným na dílčí problém, který pomáhá lépe pochopit kus komplikované reality (Pelánek, 2011, s. 49).

3.4.3 Proces tvorby modelu

Ačkoli se mohou terminologie v popisu procesu tvorby modelu u různých autorů mírně rozcházet, vždy se jedná v zásadě o formulaci problému, popis a sestavení modelu, hodnocení věrohodnosti sestaveného modelu a testování.

Jednou z možných variant je například pojetí podle Dlaska (2011).



Obrázek 10: Postup při tvorbě modelu
(zdroj: zpracováno podle Dlask, s. 75)

Jak obrázek naznačuje, celý koloběh činností se může i několikrát zopakovat, než je skutečně dosaženo patřičného výsledku.

Vlastní proces sestavení modelu označujeme jako modelování. K popisu podnikových procesů slouží řada nástrojů, základním je diagram procesů. Základem modelu jsou objekty, které s procesem souvisejí (podle Basl, 2008):

- cíle – kterých chceme pomocí procesu dosáhnout,
- vstupy – objekty, které proces přetváří nebo spotřebovává,
- výstupy – objekty, které jsou výsledkem nebo produktem procesu,
- podpůrné objekty – informace, které jsou procesem využívány,
- řídicí objekty – řídí běh procesu.

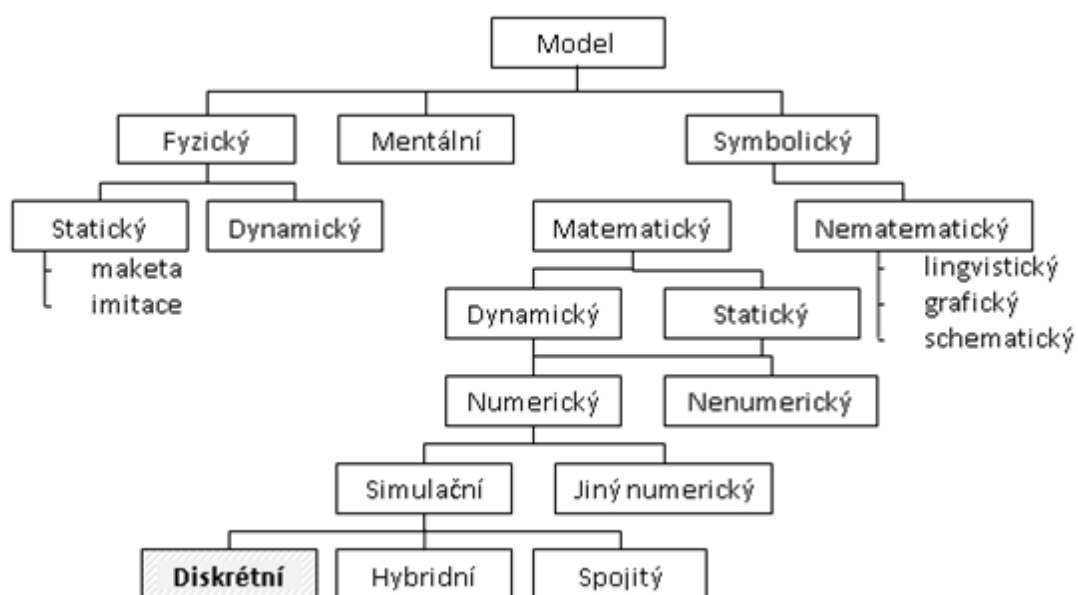
3.4.4 Rozdělení modelů

Vzhledem k rozsáhlosti a složitosti reálných objektů je nutné se rozhodnout, jaký druh modelu použijeme. Existuje celá řada způsobů a hledisek rozdělení modelů, možným příkladem je rozdělení podle Grose (2003):

- dle fyzické podoby modelu

- analogové modely – funkční obdoby reálných modelů
- matematické modely – vyjádřené pomocí matematických výrazů a symbolů
- zmenšené repliky reálných modelů
- dle očekávaného použití
 - popisné modely – vyjadřují základní vztahy v reálném objektu a snaží se vytvořit podklady pro hodnocení jeho úrovně. Dávají manažerům možnost jednoduchého srovnávání různých variant řešení problémů
 - prognostické modely – jsou používány pro odhad budoucího vývoje. Opírají se o statistickou analýzu vývoje časových řad, a proto je označujeme za statistické modely
 - optimalizační modely – cílem těchto modelů je hledat nejlepší variantu řešení

Orientaci v různých druzích modelů může usnadnit například Daňkovo (2005) grafické rozdělení:



Obrázek 11: Rozdělení modelů podle typu
(zpracováno podle Daňky, 2005)

V praktické části této práce se budu zabývat zejména diskrétními modely a simulacemi, jejichž umístění v celé hierarchii je vidět na předchozím obrázku.

Modelovat, podobně jako simulovat (viz níže), můžeme z různých důvodů. Záleží, jak dobře systém známe a co se chceme ještě dozvědět.

Z mnoha důvodů, proč modelovat, lze uvést například (podle Pelánek, 2011):

- návrh a řízení systémů – snaha o maximální přesnost, vyhodnocení různých zásahů do systému,
- předpovídání chování – poznání vývoje do budoucnosti,
- porozumění – objevování zákonitostí systému, zejména u komplexních systémů,
- učení, trénink, zábava – tvůrce a uživatel není tatáž osoba, např. zaučení nového pracovníka.

Vezmeme-li jakýkoli vytvořený model a uvedeme jej „do pohybu“, většinou s cílem sledovat jeho chování v různých situacích, hovoříme o simulaci.

3.5 Simulace

Pochází z latinského „simulare“, což znamená „imitovat“ nebo „napodobovat“ (Pelánek, 2011, s. 50). Stejně jako spolu úzce souvisí pojem „model“ a „simulace“ souvisí spolu i jejich definice. Proto lze často u různých autorů najít tyto pojmy vysvětlované spíše spolu, než zvlášť. Základní rozdíl již padl při definování modelu, a to, že simulace je vlastně jakýmsi uvedením modelu „do chodu“.

Počítačová simulace je moderním nástrojem pro analyzování složitých výrobních, zásobovacích, komunikačních a jiných podnikových procesů. Je jednou z metod pomáhajících manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy podle zadaných kritérií (zisk, náklady, spolehlivost) a porovnat mezi sebou navrhované alternativy organizace studovaného procesu. Nespornou výhodou simulace je fakt, že se vše děje jen v počítačovém modelu, tudíž bez nutného zásahu do provozu podniku. (Pelánek, 2011, s. 50).

Simulace snižuje riziko chybných rozhodnutí na minimum, neboť umožňuje zkoumat různé alternativy změn v systému, ověřit jejich dopady a důsledky a vybrat takové řešení, které je pro danou situaci nejvhodnější. Nalezení chyby při experimentech bývá vždy levnější, než chyba odhalená teprve při realizaci konkrétního předem nezkoumaného návrhu. (Pelánek, 2011, s. 50).

Základním principem simulace je experimentování s počítačovým modelem. V něm se simulují stavy systému jako je transport součástí, proces obrábění, porucha atd. v závislosti na čase. Jejich změna nenastává plynule nýbrž diskrétně, a to v časových okamžicích reprezentovaných nějakou diskrétní událostí. Takovou událostí může být příchod zakázky, začátek obrábění, začátek poruchy, začátek seřizování apod. Cílem experimentování je nalezení takových hodnot výstupních veličin modelu, které vyhovují předem stanoveným požadavkům (Wiglasz, 1999).

Počítačový simulační model podává výstupy v podobě uživatelem definovaného souboru ukazatelů, jež byly získány při simulaci analyzovaného podnikového procesu (Pelánek, 2007, s. 6).

Typickými ukazateli mohou být (podle Dlouhý 2007):

- Využití výrobních kapacit a zdrojů v absolutních hodnotách a procentech (provoz, porucha, nečinnost). Grafy využití zdrojů v čase.
- Minimální, průměrné a maximální doby čekání a délky front vznikající u zdrojů s omezenou kapacitou a z toho plynoucí identifikace úzkých (kritických) míst. Grafy vývoje front v čase.
- Spotřeba zásob a frekvence jejich doplňování. Grafy vývoje zásob.
- Minimální, průměrné a maximální doby trvání jednotlivých činností. Celková doba procesu, cyklu.
- Počet požadavků, které byly obslouženy systémem během simulace. Průměrný počet požadavků, které byly v daném okamžiku v systému. Graf vývoje počtu požadavků v čase.
- Počet neobsloužených požadavků, počet závad nebo reklamací. Statistiky poruchovosti a ztráty takto způsobené.
- Přímé, režijní a celkové náklady na výrobky, služby, zakázky, procesy, činnosti atd. Variabilita nákladů (minimální, průměrné a maximální hodnoty). Spolehlivost výše uvedených ukazatelů na základě statistické a citlivostní analýzy.

3.5.1 Využití simulace

Možností využití simulace podnikových procesů je celá řada, neboť komplikované podnikové systémy, které mají pravděpodobnostní a dynamické chování, jsou spíše pravidlem nežli výjimkou (Dlouhý, 2007, s. 7).

Simulace můžeme využívat například pro (podle Manliga, 2000):

- „Optimalizaci“ obchodních procesů:
 - stanovení „optimální“ výrobní strategie,
 - předpovídání „skutečných“ nákladů na zakázku.
- Plánování a řízení výroby:
 - plánování celopodnikových zdrojů a dílenské výroby,
 - přidělování zakázek jednotlivým výrobním celkům.
- Analýze výrobních systémů:
 - identifikování a odstranění úzkých míst,
 - odhalování rezerv důkladným rozbořem nejrůznějších činností,
 - „co - když“ („what – if“) analýzy.
- Zlepšení logistických koncepcí:
 - eliminace skladů a zásob,
 - redukce rozpracované výroby a průběžných dob,
 - určování výrobních a transportních dávek,
 - sladění dodávek surovin a polotovarů s výrobou,
 - zabezpečení expedice.
- Projektování výrobních systémů:
 - projektování inovačních změn stávajících výrobních systémů,
 - zjištění požadavků na kapacity pro zajištění plynulosti výroby,
 - návrh dispozičního uspořádání,
 - „optimalizace“ uspořádání jednotlivých prvků celku,
 - zkušební provoz.

3.5.2 Simulační programy

Simulační programy se stávají uživatelsky čím dál přívětivějšími a programování je do maximální míry nahrazováno operacemi s předem definovanými

objekty v uživatelsky přátelském grafickém prostředí s dnes již samozřejmými animacemi simulovaného systému a grafickými výstupy (Dlouhý, 2007, s. 58).

Simulačních programů existuje celá řada. Mezi relativně známé lze zařadit například:

- ARENA,
- SIMUL8,
- WITNESS.
- PLANT SIMULATION (viz dále).

3.5.3 Použité programy a nástroje

3.5.3.1 PLANT SIMULATION

Bangsow (2010) mluví v úvodu své knihy o stále se zvyšujícím tlaku na efektivnost výrobních procesů v důsledku vysoce konkurenčního prostředí v mnoha odvětvích. O stejnou myšlenku se také opírá společnost Tecnomatix (Siemens PLM software, 2013), když popisuje právě tento svůj produkt na webových stránkách. Shodují se také na tom, že potřeba plánovat a budovat nové výrobní linky a řídit celosvětové sítě vyžaduje, aby byla managementu poskytována objektivní kritéria pro rozhodování pomáhající zhodnotit různé alternativní přístupy. Zejména k tomuto účelu může být využit právě softwarový produkt Plant Simulation.

Jak uvádí společnost Tecnomatix (Siemens PLM software, 2013), Plant Simulation je nástrojem pro simulaci diskrétních událostí, který pomáhá vytvářet digitální modely logistických systémů (např. výroby), díky kterým je možné zkoumat charakteristiky systému a optimalizovat jeho výkonnost. Tyto digitální modely dále umožňují provádět pokusy a scénáře „co kdyby“ bez narušení stávajících výrobních systémů nebo, v případě použití v procesu plánování, dlouho před instalací skutečných výrobních systémů. Integrované analytické nástroje, jako je analýza překážek, statistiky a grafy, umožňují vyhodnotit různé výrobní scénáře. Slovy Tecnomatixu pak výsledky těchto analýz poskytují informace potřebné k činění rychlých a spolehlivých a chytřejších rozhodnutí v raných fázích plánování výroby.

Na stránkách Tecnomatixu se také lze dočíst, že s řešením Plant Simulation lze modelovat a simulovat výrobní systémy a jejich procesy, stejně jako optimalizovat tok materiálu, využívat zdroje a logistiku pro všechny úrovně plánování od jednotlivých

výrobních linek přes lokální továrny až po globální výrobní závody. Jako klíčové funkce a přínosy uvádí Tecnomatix u svého produktu:

Možnosti

- Objektově orientované modely s hierarchickou strukturou,
- otevřená architektura s rozhraními více standardů,
- správa knihoven a objektů,
- optimalizace pomocí genetických algoritmů,
- automatická analýza výsledků simulace.

Přínosy

- zvýšení produktivity stávajícího systému až o 20 procent,
- snížení nákladů na nový systém až o 20 procent,
- optimalizace spotřeby prostředků a opakované použití,
- snížení zásob až o 60 procent,
- zkrácení doby propustnosti až o 60 procent.

3.5.3.2 APP (Analyzer of production processes)

Tato aplikace uváděná v českém překladu jako „Analyzér výrobních procesů“, vznikla podle autorů APP (2010) jako univerzální nástroj, který má sloužit k analýzám dat rozličných datových zdrojů. Na základě vyvinuté metodiky pak umí dle standardních rutin a postupů importovaná data analyzovat. Takto získané výstupy je třeba dále vhodně interpretovat, a pak z nich lze vyvodit relevantní závěry. Grafické výstupy mohou sloužit pro lepší pochopení systému, stejně jako pro srovnání dat s daty z jiného období.

Aplikace je výhradním vlastnictvím firmy a jejích autorů. Pro pracovní účely firmy a na jejích počítačích je po řádném zaškolení uživatele volně k dispozici.

Analýza dat získaných pro účely práce byla prováděna právě prostřednictvím této aplikace. Princip jejího fungování bude z mých zkušeností a za pomoci manuálu popsán v následujících odstavcích.

Aplikace vychází ze základního požadavku univerzálnosti, čemuž je podřízen způsob jejího využívání. Získaná strukturovaná data jsou nejprve uživatelem

přetřansformována do formy *.txt či *.csv souboru. Takto upravená data je následně možné přes rozhraní aplikace importovat do zdrojové databáze. V závislosti na zvoleném typu analýzy jsou pak data uživateli zobrazována prostřednictvím předdefinovaných šablon v programu MS Excel. S výstupem analýzy může uživatel v programu MS Excel dále pracovat, graficky jej upravovat a používat jej pro práci s dalšími aplikacemi (kolektiv autorů APP, 2010, s. 15).

3.5.3.3 Evidenční bod

Pro analýzu výrobního procesu jsou vhodná data získaná z evidenčních bodů. Podle autorů aplikace APP (2010) může být evidenční bod chápán v užším slova smyslu jako bod, ve kterém jsou v daném čase načítány informace pomocí automatického či ručního zařízení. V širším slova smyslu je však možné data z EB nahradit jinými daty s patřičnou strukturou, a pak stejně a za použití stejných nástrojů analyzovat data ze simulačního softwaru, logistická data či data o kvalitě výroby (Karpeta, 2010). Například v případě závodů na výrobu automobilů jedná o body, kde se identifikuje karoserie v průběhu výroby. Tyto jsou rozmístěny od svařovny až po expedici hotového vozu.

Hlavním přínosem nástroje APP je (podle autorů APP, 2008):

- komplexní pohled na reálné procesy a nacházení nových souvislostí,
- definování úzkých míst a jejich vazby na ostatní oblasti,
- odstranění duplicit, které plynou z různých metodických přístupů,
- posilování interního know-how,
- hardwarová a softwarová nenáročnost.

3.5.3.4 VDA (*Verband der Automobileindustrie*)

„Sdružení Automobilového Průmyslu“, jak lze do češtiny přeložit tento název, se stará o prosazování zájmů celého německého automobilového průmyslu. Jejímí členy jsou automobiloví výrobci, dodavatelé, výrobci přívěsů atd. Jedna z pracovních skupin VDA se zabývá standardizací modelování procesů, a právě z rukou této skupiny vzešla celá knihovna standardizovaných prvků pro program Plant Simulation zejména pro použití v automobilovém průmyslu.

Model vytvořený pro účely této práce byl sestavován právě z prvků knihovny VDA.

3.6 O společnosti

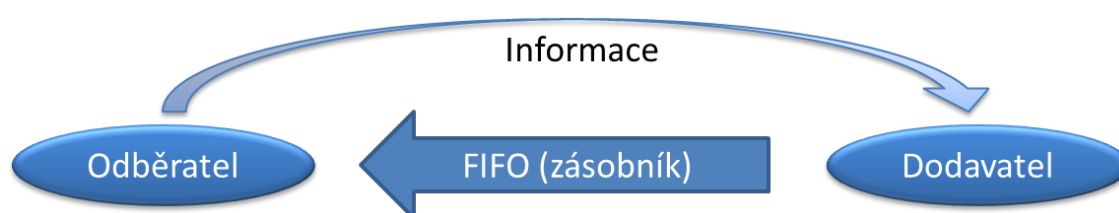
text je součástí tajné verze

4 Analytická část

4.1 Zavážení dílů

4.1.1 Současný koncept

Dosud byla montážní linka zásobována pouze jedním dodavatelem (dále jen Dodavatel1), který se nachází v blízkosti montážní haly.



Obrázek 12: Stručné schéma zásobování jedním dodavatelem
(vlastní zpracování)

Schéma znázorňuje dosavadní koncept, kdy je na lince montován pouze jeden model. Podle sekvence různých variant modelu jsou díly u dodavatele vyrobeny ve stejné sekvenci, díky odvolávce poslané odběratelem (tato odvolávka je na obrázku znázorněna jako tok informací). Ty jsou následně navěšovány na závěsy dopravníkového mostu a putují k požadované pozici na montážní lince. Dopravníkový most je ve schématu znázorněn jako šipka směřující od dodavatele k odběrateli. Systém FIFO⁶ znamená, že v jakém pořadí díly na dopravník vstupují, v takovém z něj také vystupují. Jelikož je rychlost dopravníkového mostu o něco vyšší, než rychlost montážní linky, lze jej v omezené míře považovat zároveň za zásobník pomáhající vyrovnávat případné výkyvy v produkci Dodavatele1. Konkrétněji je systém zachycen na obrázku Schéma zásobování jedním dodavatelem (viz příloha 1).

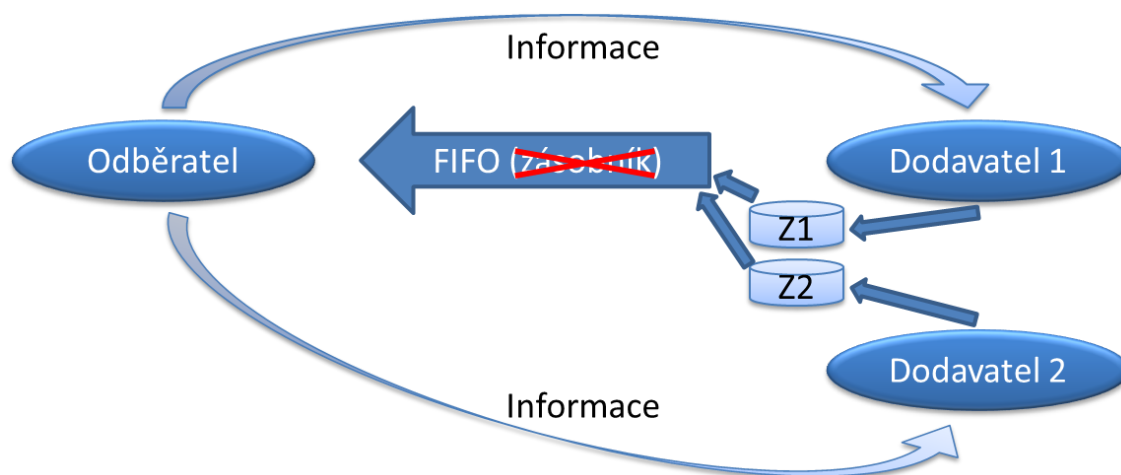
4.1.2 Nový koncept

S rozšířením výroby o další model nebude dále linka zásobena jedním dodavatelem, nýbrž dvěma dodavateli. V rámci tohoto nového konceptu dojde k řadě změn, jejichž dopad je nutné ověřit. Pro ověření nového konceptu je vhodná diskrétní

⁶ First in – first out

simulace. Použitím tohoto nástroje je totiž možné v relativně krátkém čase analyzovat vliv více proměnných a ověřovat dopad různých rozhodnutí na reálný systém bez nutnosti do něj fyzicky zasahovat.

Nový koncept je zachycen na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Stručné schéma zásobování dvěma dodavateli (vlastní zpracování)
(vlastní zpracování)

Jak je vidět na obrázku, kromě druhého dodavatele přibýly také dva zásobníky (označeny Z1 a Z2). To proto, že pokud by jeden z dodavatelů nedodal díly včas, nemohly by být kvůli dodržení sekvence navěšeny dodané díly od druhého dodavatele a ten by tudíž musel čekat. Nové zásobníky „utlumí“ tyto případné výkyvy v produkci obou dodavatelů. Jak bylo zmíněno, vyvstává nutnost řídit navěšování dílů ze zásobníků na závěsy dopravníkového mostu tak, aby byla zachována sekvence jako na montážní lince.

Nový dodavatel (dále jen Dodavatel2) se nachází mimo závod a díly bude nutné dovážet. K tomuto účelu budou sloužit nakládací/vykládací rampy u zásobníku, kde budou vykládány palety s přivezenými garniturami⁷ a následně nakládány prázdné palety.

V případě nakládání a vykládání v zásobnících jsou uvažovány dvě varianty – ruční a automatizovaná. Ruční varianta, je investičně méně náročná, ale vykládání a nakládání dílů trvá několikanásobně déle než u investičně náročnější automatizované

⁷ garnitura – sada dílů pro jeden výrobek

varianty, a je nutné zaměstnávat několik pracovníků navíc. Právě v určení výhodnější varianty na základě porovnání těchto dvou variant ve vlastním vytvořeném modelu tkví cíl této práce.

Aby mohl být výše zmíněný cíl práce naplněn, je nutné vytvořit právě onen odpovídající simulační model pro experimentování. K tomuto účelu byla sesbírána všechna potřebná data a důležité informace o simulovaném systému, jejichž analýze a interpretaci je věnována tato část práce.

4.1.3 Vazby mezi prvky systému a jejich stručná charakteristika

Jedním z důležitých kroků při analýze dané oblasti je poznání vazeb a souvislostí mezi dílčími prvky celého procesu zavážení. Popis jednotlivých prvků a jejich vazeb vychází z následujícího grafického zpracování.

je součástí tajné verze

Obrázek 14: Schéma zásobování dvěma dodavateli
(vlastní zpracování)

4.1.3.1 Hlavní materiálový tok

Hlavní materiálový tok představuje v obrázku přerušovaná čára. Jak je vidět, do sledovaného úseku výroby přicházejí výrobky a jsou uskladněny v zásobníku.

text je součástí tajné verze

4.1.3.2 Dodavatel1

Tento dodavatel zásobuje montážní linku díly pro účel práce nazvanými „díly1“. Nachází se v areálu závodu, takže není potřeba díly převážet, tyto přijedou na dopravníku přímo z linky Dodavatele1 do zásobníku před dopravníkovým mostem. Jeho takt pro účely simulace je určován na základě aktuální ověřované varianty modelového mixu.

4.1.3.3 Dodavatel2

Od tohoto dodavatele je linka zásobována díly pro účel práce nazvanými „díly2“. Na rozdíl od předchozího dodavatele se tento nachází mimo závod několik kilometrů od zásobníku před dopravníkovým mostem, proto je nutné díly dovážet.

Doprava je zajišťována kamiony, kdy do jednoho je naloženo vždy patnáct garnitur. Doba přepravy kamionem je z údajů od dodavatele stanovena na necelých 18 minut.

Tyto dvě varianty se od sebe liší jak časem potřebným na naložení a vyložení kamionů, tak samozřejmě také svými náklady. Základní charakteristiky obou variant jsou součástí procesního a ekonomického hodnocení (viz kapitoly 5. a 6.).

4.1.3.4 Dopravníkový most

Součástí systému je dopravníkový most, na kterém jsou závěsy určené pro přepravu garnitur. Navěšované garnitury putují na závěsech v dané sekvenci na montážní linku, kde jsou montovány na příslušný výrobek. V simulačním modelu bude pro dopravníkový most použito následujících parametrů:

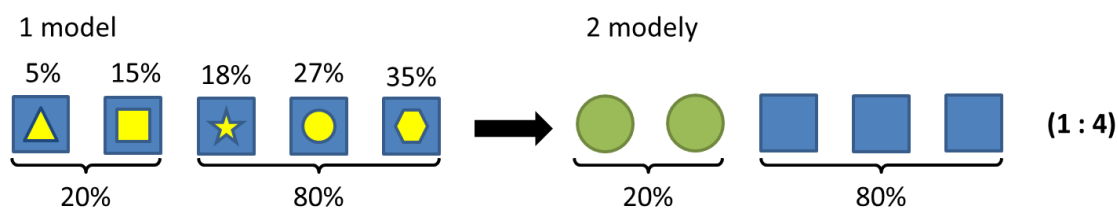
- Rychlost - 8 m/min,
- počet pozic (závěsů) – 149,
- využitelnost – 100%.

Další vlastnosti a parametry systému či jeho jednotlivých prvků budou získány analýzou dat pro účely této simulace.

4.2 Sběr dat

Všechny průchody výrobků evidenčními body jsou zaznamenávány a ukládány systémem FIS do databáze (viz kapitoly 4.2.3.3 a 4.2.3.5). Pro účely této analýzy byl použit soubor více než šestnácti tisíc zaznamenaných průchodů výrobků na bodě A z období prosinec 2012 až leden 2013. Tento soubor dat byl pak příslušným pracovníkem firmy upraven tak, aby odpovídal požadavkům na simulaci konceptu s novým modelem, a to na bázi analogie.

Jak bude dále v práci popsáno, bylo pomocí metody analogie vytvořeno několik variant modelových mixů, v jakých by mohla výroba stávajícího a nového modelu na lince probíhat. Byl stanoven procentuální podíl, jaký by měl nový model v celkové produkci linky zaujímat, a poté byly dle určitého klíče některé varianty výrobků ze zkoumaných dat považovány za nový model.



Obrázek 15: Získání vstupních dat metodou analogie
(vlastní zpracování)

Bylo-li by tedy například potřeba vytvořit data pro dvacetí procentní podíl nového modelu v produkci a bylo-li by zjištěno, že varianta se sběrným košem (modrý čtverec se žlutým trojúhelníkem) se v datech vyskytuje v 5 % případů a varianta se třemi rychlostmi (modrý čtverec se žlutým čtvercem uprostřed) v dalších 15 % případů, byly by tyto dvě varianty v upravených datech považovány za nový model (zelený kruh), čímž by právě vznikl požadovaný modelový mix.

Jedná o poměrně jednoduché a rychlé vytvoření možného budoucího stavu například právě pro účely simulace. Touto metodou vznikly tři různé varianty modelového mixu, které byly podrobeny analýze a následně i testovány ve vytvořeném simulačním modelu.

4.3 Analýza získaných dat

V následující kapitole je největší pozornost věnována interpretaci grafických výstupů jednotlivých analýz provedených pomocí nástroje APP. Pro ucelenost textu je většina grafů uvedena v přílohách práce, v textu jsou použity pouze části grafických výstupů se zvýrazněním nejdůležitějších údajů. Celkové shrnutí nejdůležitějších získaných poznatků použitých zároveň jako vstupní údaje pro simulaci je taktéž součástí příloh práce.

Pro dosažení korektních výstupů vyžaduje metodika nástroje APP provedení několika důležitých kroků, než je možné se pustit do samotného analyzování dat, kterými jsou provedení importu dat a nastavení časových ohraničení a způsobu očištění dat. Každému z těchto kroků bude nyní věnováno několik řádků pro vysvětlení.

4.3.1.1 *Import dat*

Jak předepisují sami tvůrci nástroje APP, základnímu požadavku univerzálnosti je podřízen i způsob jeho využívání. Strukturovaná data musí být proto uživatelem nejprve transformována do *.txt či *.csv souboru, aby mohla být následně importována do APP a dále zkoumána.

Data uložená v sešitu MS Excel byla proto za pomoci několika funkcí přetransformována do potřebné podoby a převedena do souboru *.txt. Byly vytvořeny tři různé soubory vstupních dat pro tři různé analyzované varianty.

4.3.1.2 *Časové ohraničení*

Pro dosažení korektních výstupů vyžaduje metodika APP nastavení něčeho, co má v masce programu označení „časové ohraničení“. V podstatě se jedná o nastavení intervalů, na které má nástroj strukturovaná data rozčlenit z časového hlediska, a které má pak považovat za nejmenší časovou jednotku při analýze. Umožní tak uživateli hned dvě věci. Nastavením intervalů je možné jednak vyloučit z analýzy data nevhodná (extrémy, které by ovlivnily některé statistické ukazatele), jednak umožňuje porovnávat například produkci za různě dlouhá časová období.

Pro účely práce byla analyzována produkce týdenní, denní a hodinová, konkrétní systém nastavení časového ohraničení nástroje APP je v tabulkách v přílohách 5, 6 a 7.

V případě týdenní produkce (viz příloha 5) byly pro porovnávání zvoleny 4 týdny, po které probíhala výroba od pondělí do pátku. V případě denní produkce (viz příloha 6) bylo na základě logických dedukcí a získávání dodatečných informací vytvořeno takové ohraničení, ve kterém je jako denní produkce brán vždy souhrn průchodů od 22 hodin a 10 minut dne předchozího do 22 hodin a 10 minut dne stávajícího. Volba tohoto ohraničení byla ovlivněna třemi faktory:

- montážní linka pracuje ve 2 směnách, celkem od 6 do 22 hodin
- časová odezva na linku je asi 10 minut (viz níže)
- veškeré průchody mezi 22:10 a 6:10 souvisí s následující směnou

Z tohoto ohraničení byly vyloučeny všechny dny, ve kterých neprobíhala výroba standardně po celé dvě směny.

Ohraničení pro porovnání hodinové produkce (viz příloha 7) bylo stanoveno pouze ve dnech, kdy probíhala výroba standardně v průběhu obou směn a pouze v těch hodinách, v nichž není žádná plánovaná pauza.

Tohoto ohraničení bylo zvoleno proto, aby bylo možné vysledovat maximální dosažitelnou produktivitu, cílem tedy bylo očistit výsledky o veškeré plánované pauzy. Výsledky analýzy hodinové produkce tedy odpovídají stavu, kdy zastavení linky způsobují pouze náhodně vznikající poruchy, hodnota je tedy ovlivněna pouze poruchovostí.

4.3.1.3 Způsob očištění dat

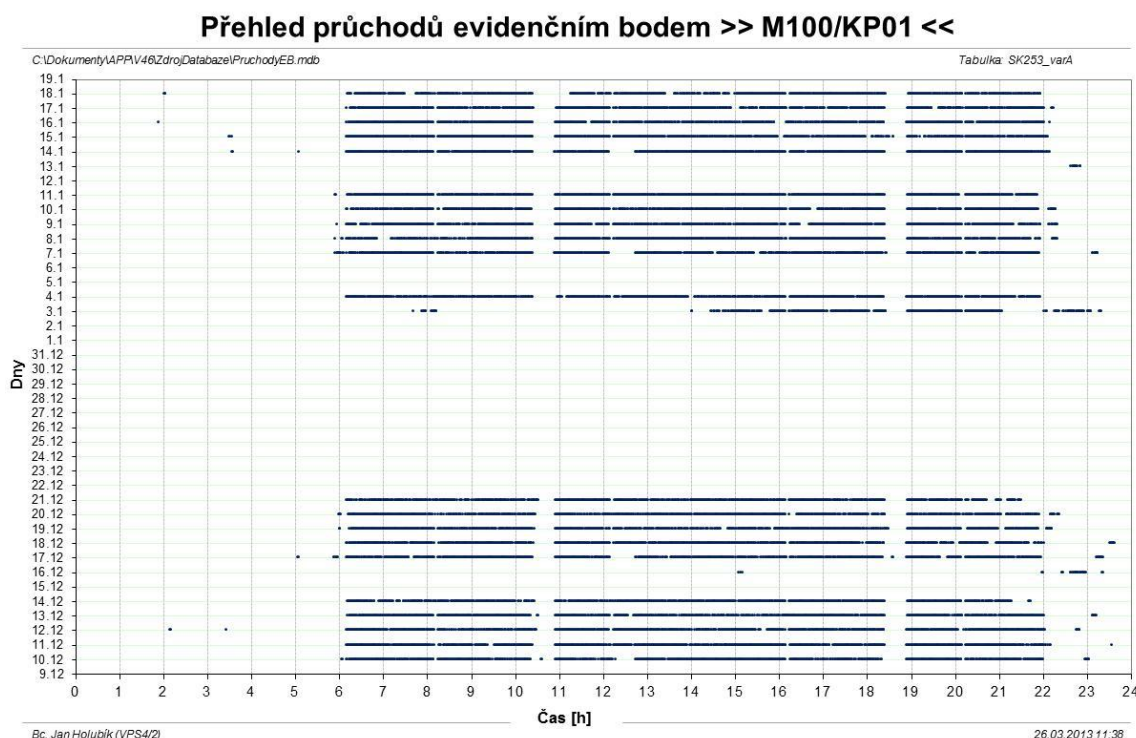
Nástroj APP umožňuje také kontrolovat duplicitu záznamů a dále pak nastavit, jak s případnými nalezenými duplicitními záznamy naložit – zda použít například první či poslední nalezený záznam atd. Vzhledem k faktu, že bylo při kontrole dat prokázáno, že v analyzovaných datech se žádné duplicitní záznamy nevyskytují, nebyla v nástroji APP nastavena kontrola duplicit.

4.3.2 Analýza původních dat

Prvních několik analýz bylo provedeno bez ohledu na modelový mix, a to z důvodu získání některých základních informací o systému jako takovém. Na příkladu analýzy průchodů evidenčním bodem bude kromě samotných závěrů plynoucích z analýzy také ukázán postup při rozboru grafického znázornění. Z tohoto důvodu bude také grafický výstup analýzy obsažen přímo v textu práce, výstupy ostatních analýz budou zařazeny do příloh z důvodu lepší přehlednosti textu a bude na ně pouze odkazováno.

4.3.2.1 Průchody evidenčním bodem

Výstupem této analýzy je následující grafické znázornění.

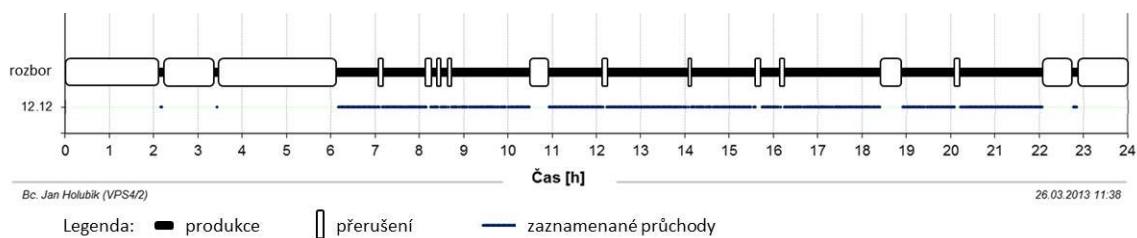


Obrázek 16: Přehled průchodů evidenčním bodem
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2.)

Každý jednotlivý záznam průchodu příslušným evidenčním bodem je v tomto grafu vyznačen tečkou v průsečíku dne (osa y) a hodiny (osa x), kdy byl zaznamenán. To, co se v grafu jeví jako plná čára je ve skutečnosti soubor jednotlivých bodů (zaznamenaných průchodů) v pravidelném sledu – bez přerušení. Proto v případě tohoto konkrétního výstupu lze každou „mezeru“ – přerušení této pomyslné čáry interpretovat jako prostoj, přestávku nebo případně jako celou nepracovní směnu.

Podobný výstup APP zkoumá také Varjan (2012), který při svém rozboru rozlišuje produkci, přestávky, prostoje a přeseřízení. Stejným způsobem bylo proto postupováno v této práci při analýze průchodů evidenčním bodem. V následujících dvou obrázcích je vyňat jeden konkrétní den jako reprezentant a na jeho příkladu je znázorněn postup při zkoumání výstupu této analýzy. Tento konkrétní den je na ose y označen datem, jeho rozbor se nachází nad ním.

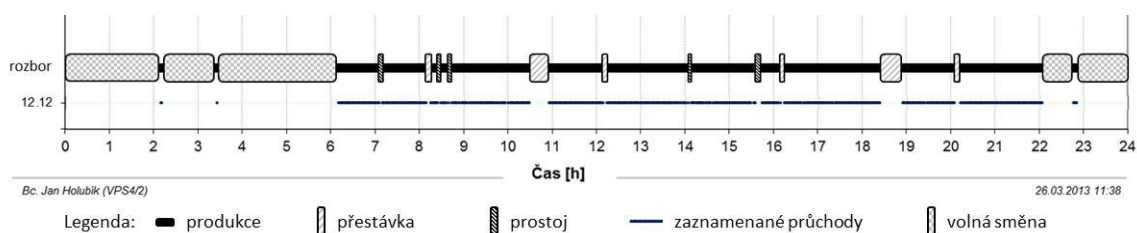
Nejprve bylo zjištěno, kde v průběhu procesu dochází k přerušení. Tato místa byla označena a dále zkoumána.



Obrázek 17: Ukázka rozboru výstupu z APP – krok 1
(vytvořeno na základě Varjan, 2012)

V čase od 0:00 do asi 6:10 bylo identifikováno přerušení, s několika ojedinělými výskyty průchodů, čas mezi 6:10 a 22:10 byl identifikován jako produkce s několika přerušeními v různé délce trvání a čas od 22:10 do 0:00 opět jako přerušení s několika ojedinělými průchody. Z této analýzy bylo vyvozeno, že v době od šesté hodiny ranní do desáté hodiny večerní probíhá výroba, což odpovídá dvěma směnám za den. Třetí směna v době od 22:00 do 6:00 dalšího dne je volná - nevýrobní.

Jednotlivá přerušení byla podrobena dalšímu zkoumání, z nějž vyplynulo následující.



Obrázek 18: Ukázka rozboru výstupu z APP – krok 2
(vytvořeno na základě Varjan, 2012)

V čase mezi desátou a jedenáctou hodinou a mezi osmnáctou a devatenáctou hodinou byla nalezena přerušení, která se pravidelně opakují každý den v délce trvání asi třicet minut. Bylo potvrzeno, že se jedná o hlavní pauzy uprostřed směn. Analogicky bylo postupováno při určení dalších čtyř kratších pauz v průběhu dne.

Zároveň byly zkoumány ojedinělé záznamy průchodů v čase mezi desátou hodinou večerní a šestou hodinou ranní. V souvislosti s umístěním bodu ve výrobním toku (viz Schéma zavážení dvěma dodavateli str. 39) byly tyto ojedinělé průchody identifikovány jako doplňování stavu v zásobníku mezi bodem B a montážní linkou. To znamená, že v té době mohla montážní linka stát, a přesto mohly výrobky procházet

bodem B. Tvrzení, že se jedná o dvousměnný provoz, tyto ojedinělé průchody tudíž nevyvrací.

Jestliže tedy vezmeme v úvahu, že na ose x jsou vyneseny jednotlivé hodiny dne a osa y značí jednotlivé dny, pak můžeme z vysoké četnosti průchodů vždy od 6:10 do 22:10 hodin v průběhu pěti po sobě jdoucích dnů s následnou dvoudenní pauzou usoudit, že se jedná o dvousměnný provoz vždy od pondělí do pátku. V každé směně se v grafu s naprostou pravidelností opakují dvě malé a jedna velká mezera, z čehož lze usuzovat na dvě malé a jednu velkou plánovanou pauzu v každé směně. Ostatní „mezery“ mezi průchody lze považovat za důsledek prostojů na montážní lince.

Část grafu znázorňující období od 22. 12. 2012 do 2. 1. 2013 byla určena jako celozávodní dovolená, výroba v tomto období tudíž neprobíhala. Zaplnění zásobníku za bodem B proběhlo dle grafu mezi 7:30 a 8:30 dne 3. 1. 2013 a první výrobní směna na montážní lince začala 3. 1. 2012 ve 14:00.

Ranní směna na montážní lince začíná vždy v 6:00 a odpolední směna končí ve 22:00. Z faktu, že ve sledovaných datech jsou oba tyto časy o deset minut posunuty (tzn. že první zaznamenaný průchod, který lze považovat za začátek směny je obvykle v 6:10 každého dne a poslední průchod ve 22:10), bylo stanoveno, že časová odezva v bodě B na montážní linku je v trvání deset minut. Tento čas byl určen jako nejkratší nutný čas pro průjezd výrobku dopravníkem z bodu B na montážní linku.

4.3.2.2 Popisná statistika četnosti průchodů evidenčním bodem

Týdenní produkce

je součástí tajné verze

Graf 1: Analýza týdenní produkce v období 10. 12. 2012 - 18. 1. 2013 - upraveno
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

V případě grafu Týdenní produkce (viz také příloha 2), kdy osa x znázorňuje plynutí času a osa y počet kusů za daný interval (viz kapitola časové ohraničení), lze vizuálně velmi dobře porovnat týdenní produkci za sledované období. Z grafu je patrné že se týdenní produkce s přelomem roku snížila o více než 100 kusů. Při srovnání pouze čtyř intervalů (týdnů) však nelze jednoznačně vyvodit žádný konkrétní závěr, nelze určit, zda jde o změnu přechodnou či trvalou. Lze pouze usuzovat, že mohlo jít například o prosincové navýšení výroby z důvodu splnění norem nebo o změnu technologie či jinou změnu v systému provedenou v období celozávodní dovolené (CZD), která vedla k mírnému snížení produkce v období ledna.

Denní produkce

O denní produkci vypovídá graf 4 (viz také příloha 3). Po očištění o dny s „neúplnou“ produkcí obsahuje sledovaný soubor celkem dvacet dva pracovních dnů. Průměrná denní produkce tohoto období byla stanovena na (text je součástí tajné verze) za den.

Opět je však třeba upozornit na zřetelný rozdíl v produkci za prosinec a leden. Pro detailnější rozbor systému by bylo tedy vhodnější pracovat s dvěma hodnotami denní produkce, a to se (je součástí tajné verze) za den v období prosince a necelými je součástí tajné verze) za den v období ledna.

je součástí tajné verze

Graf 2: Analýza denní produkce v období 10. 12. 2012 - 23. 1. 2013 - upraveno
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Zejména z analýzy prosincové části dat je možné usuzovat, že dopravník před montážní linkou je v páteční odpolední směně vždy ponechán k vyprázdnění a k jeho opětovnému zaplnění dochází obvykle v noci z neděle na pondělí. Tomu odpovídá jak

absence evidence průchodů v grafu průchodů EB na konci páteční směny, tak nižší denní produktivita vždy v pátek (viz 14. a 21. prosinec)

Hodinová produkce

je součástí tajné verze

Graf 3: Analýza hodinové produkce v období 12. 12. 2012 - 14. 1. 2013 - upraveno
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

V grafickém výstupu analýzy hodinové produkce (viz příloha 4), kde se průměrná hodnota hodinové produkce pohybuje na (je součástí tajné verze), byly také určeny hodnoty zvlášť pro období prosince a zvlášť ledna, a to ze stejného důvodu jako u analýzy týdenní a denní produkce. Občasný pokles hodnot v některých intervalech až (je součástí tajné verze) je dán odezvou na prostoje na montážní lince.

4.3.2.3 Analýza doby mezi průchody

V rámci této analýzy lze získat přehled o velikosti časových intervalů mezi dvěma po sobě jdoucími zaznamenanými průchody.

je součástí tajné verze

Graf 4: Analýza doby mezi průchody v období 10. 12. 2012 - 23. 1. 2013
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Osa x znázorňuje čas průchodu výrobku, na ose y je čas, který uplynul od posledního zaznamenaného průchodu evidenčním bodem. V případě přestávky, prostoje nebo volné směny se samozřejmě doba mezi dvěma průchody mnohonásobně navyšuje, o tyto extrémy je však zobrazený graf „ořezán“ a ukazuje pouze nejčastěji se vyskytující hodnoty (jak je vidět v pravé části grafu, zobrazené hodnoty tvoří 90 % všech analyzovaných hodnot).

Z pravé části grafu, kde je vynesena četnost, byla určena nejčastější doba mezi průchody na sekund. Tato hodnota by z logiky věci měla korespondovat s taktem na montážní lince, proto byl také takt montážní linky určen sekund. Ve struktuře dat je patrná odlišnost mezi prosincovou a lednovou částí, proto byla ještě podrobena zkoumání zvlášť část získaná v prosinci a zvlášť v lednu.

Výsledkem bylo zjištění, že zatímco v lednové části dat je pouze jeden extrém v prosincové části se nacházejí extrémy dva.

(je součástí tajné verze)

Graf 5: Analýza doby mezi průchody v období 3. 1. 2012 - 23. 1. 2013
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Jak již bylo zmíněno, lednová data vykazují pouze jeden extrém, který byl určen na sekund. Z toho byl vyvozen takt pro montážní linku v hodnotě (je součástí tajné verze).

(je součástí tajné verze)

Graf 6: Analýza doby mezi průchody v období 10. 12. 2012 - 23. 12. 2013
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Prosincová data vykazují extrémy dva, a to (je součástí tajné verze). Toto zkrácení doby mezi průchody koresponduje s vyšší produktivitou vykazovanou v období prosince. Tato rozdílnost v časovém intervalu mezi dvěma průchody mohla být způsobena použitím jiné technologie nebo mixem produktů, kdy jeden vyžadoval o něco kratší dobu montáže, druhý byl shodný s lednovou produkcí.

Slova *varianta* je v práci užíváno v souvislosti s rozlišením mezi ruční a automatizovanou variantou. Proto bude v práci dále pro varianty modelových mixů uváděno pouze označení „modelový mix“ (bez výrazu „varianta“). Sledované modelové mixy budou označeny A, B, C (konkrétní hodnoty poměrů jsou uvedeny v příloze 27)

4.3.3 Analýza modelového mixu A

V tomto modelovém mixu je plánovaný poměr nového modelu vůči stávajícímu 1 ku 2, jinak řečeno tvoří asi 33% produkce. Postup analýzy byl shodný s postupem při zkoumání nerozdělených dat (viz předchozí část práce), tentokrát však s přihlédnutím k různým variantám poměrů ve výrobním mixu. Určení modelových mixů je popsáno výše.

4.3.3.1 Popisná statistika průchodů

Týdenní produkce

Analýzou týdenní produkce modelového mixu A (viz příloha 8) bylo zjištěno, že rozptyl i směrodatná odchylka pro konkrétní sledovaný model jsou několikanásobně vyšší, než hodnoty stejných veličin pro produkci jako celek (v grafu jsou modře zakroužkovány hodnoty pro celkovou produkci a oranžově hodnoty pro produkci sledovaného modelu). Tato skutečnost by v systému mohla znamenat, že bude na dodavatele vyvíjen příliš velký tlak na flexibilitu. Odvolávky jsou však odesílány v mnohem kratších intervalech, proto je nutné ověřit ještě denní a hodinovou produkci.

Denní produkce

Při analýze denní produkce modelového mixu A (viz příloha 9) byly taktéž zjištěny několikanásobně vyšší hodnoty rozpětí a směrodatné odchylky pro konkrétní sledovaný model, než u produkce celkové.

Hodinová produkce

Jelikož jsou odvolávky odesílány v kratších než hodinových intervalech, je pro posouzení vhodnosti dat pro simulaci nejdůležitější analýza hodinové produkce.
(je součástí tajné verze)

Graf 7: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu A (vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Data pro hodinovou produkci daného modelu vykazují opět v porovnání s celkovou produkcí vysoké hodnoty rozpětí a směrodatné odchylky. V grafu je možné vidět velké „skoky“ v hodinové produkci daného modelu i vizuálně.

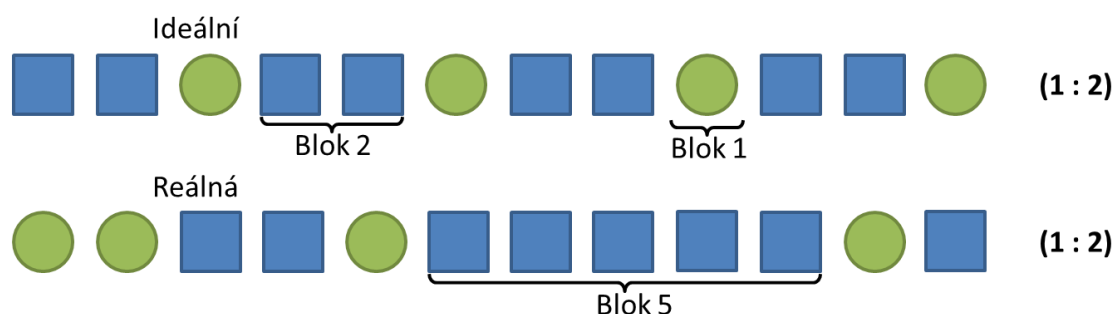
Doposud zjištěné informace lze také vhodně doplnit o poznatky z dalšího druhu analýzy, kterou je možné v pomoci APP provádět, a tou je analýza velikosti bloku.

4.3.3.2 Analýza velikosti bloku

Nejprve bude na jednoduchém příkladu vysvětlen pojem sekvence a blok, pak teprve bude vyhodnocen samotný grafický výstup této konkrétní analýzy v APP.

Slovem sekvence je míněno pořadí prvků tak, jak procházejí systémem. Slovo blok označuje skupinu stejných prvků procházejících systémem bezprostředně za sebou. Čím větší je blok (viz obrázek 16) jednoho modelu, tím větší by pak měl být i blok druhého modelu, aby výsledný mix byl opět v předem daném poměru.

Sekvence:

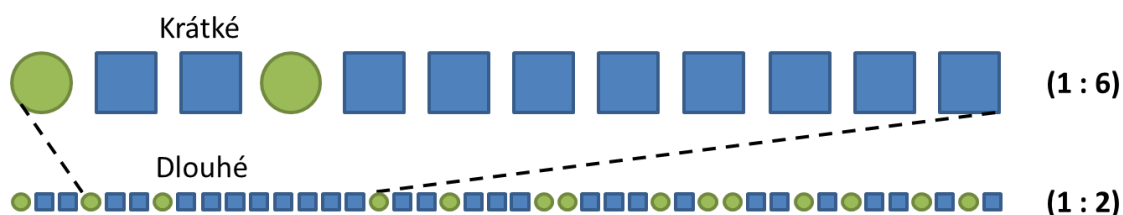


Obrázek 19: Příklady sekvence 1:2
(vlastní zpracování)

Půjde-li tedy o montážní linku, pak má-li být mix například 1 ku 2, nejjednodušší průběh lze očekávat, když skutečně budou výrobky vstupovat vždy dva kusy prvního modelu (modrý čtverec) a za ním jeden kus druhého modelu (zelený kruh). Takto vstupující prvky tvoří ideální sekvenci. V reálném systému však působí obvykle řada různých faktorů, které vstup jednotlivých prvků ovlivňují, a tak, přestože se stále jedná o mix 1 ku 2, mohou prvky vstupovat v různém pořadí a tvořit bloky větší či menší, než v ideální sekvenci. Z pohledu celého období se však poměr nemění.

Svou roli sehrává také délka období, pro kterou daný poměr modelového mixu určíme.

Období:



Obrázek 20: Vliv časového období na určení poměru v modelovém mixu
(vlastní zpracování)

Vrátíme-li se k příkladu montážní linky, lze očekávat, že mix je určován pro delší časové úseky, kdy za dané období projdou sledovanou oblastí stovky či tisíce karoserií. V dílčích časových intervalech se proto může stát, že poměr vůbec neodpovídá plánované skutečnosti (v obrázku 22 krátké období 1 ku 6), a přesto období jako celek vykazuje daný poměr (v obrázku 22 dlouhé období 1 ku 2). Podle obrázku

může situace nastat například v momentě, kdy „zelený kruh“ není z předchozího úseku výroby k dispozici a je tudíž dočasně zpracováván pouze „modrý čtverec“ (viz krátké období). Jakmile je „zelený kruh“ opět k dispozici, je zpracováván tak, aby bylo opět dosaženo stanoveného poměru (pokud to podmínky dovolují).

Grafický výstup analýzy velikosti bloku v APP zachycuje na ose y právě velikost bloku a na ose x čas, kdy byl tento blok zaznamenán. Relativní četnost jednotlivých velikostí bloků je zachycena v pravé části výstupu.

(je součástí tajné verze)

Graf 8: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu A
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

V případě modelového mixu A bylo zjištěno, že v 70 % případů vstupuje sledovaný model v bloku jedna, což znamená, že hned následující vstupující výrobek je již model druhý. Ve 20 % případů vstupuje v bloku po dvou, v 5 % případů dokonce po třech a vyskytují se i případy s pěti a více vstupujícími kusy v jednom bloku. Vliv této skutečnosti způsobující výše zmiňovanou nevyrovnanost bude dále ověřen ve vytvořeném modelu.

Pro úplnost je práce v části přílohy doplněna také o kompletní grafický výstup z analýzy velikosti bloku pro druhý model (viz příloha 10).

4.3.3.3 *Shrnutí*

Data pro modelový mix A vykazují jistou nevyrovnanost, která spočívá jednak v nepřesném poměru sledovaného modelu k celku, kdy je očekáván poměr 2 ku 1, ve skutečnosti však prosincová část dat vykazuje poměr spíše 3 ku 1. Lednová část dat již očekávaný poměr splňuje. Dále byly také zaznamenány vysoké výkyvy v hodinové produkci, jejichž existenci potvrzuje i analýza velikosti bloku sledovaného modelu. Data proto mohou při simulaci způsobovat velké výkyvy ve sledovaných proměnných.

4.3.4 Analýza modelového mixu B

Pro tento modelový mix je plánovaný poměr nového modelu vůči stávajícímu 1 ku 5, čili by měl tvořit necelých 17 % produkce. Postup analýzy je totožný s postupem u mixu A.

4.3.4.1 Popisná statistika průchodů

Týdenní produkce

Analýzou týdenní produkce modelového mixu B (viz příloha 11) bylo zjištěno, že rozptýl i směrodatná odchylka pro konkrétní sledovaný model jsou sice o více než polovinu nižší, než hodnoty stejných veličin pro produkci jako celek, je však třeba uvážit, že produkce sledovaného modelu tvoří pouze jednu šestinu z celku. Opět tedy může být na dodavatele z hlediska flexibility vyvíjen tlak, lepší vypovídací schopnost však budou mít data pro denní resp. hodinovou produkci.

Denní produkce

Při analýze denní produkce modelového mixu B (viz příloha 12) byly zjištěny již vyšší hodnoty rozpětí a směrodatné odchylky pro konkrétní sledovaný model, než u produkce celkové, což opět svědčí o velké nevyrovnanosti produkce sledovaného modelu.

Hodinová produkce

Jak již bylo zmíněno, největší vliv při krátkých intervalech mezi odvolávkami má nevyrovnanost v hodinové produkci.

(je součástí tajné verze)

Graf 9: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu B
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

V hodinové produkci modelového mixu B daného modelu jsou opět v porovnání s celkovou produkcí vysoké hodnoty rozpětí a směrodatné odchylky. V grafu je možné pozorovat velké výkyvy v hodinové produkci daného modelu i vizuálně.

Analýza četnosti průchodů byla stejně jako v případě modelového mixu A doplněna o analýzu velikosti bloku.

4.3.4.2 Analýza velikosti bloku

V datech pro modelový mix B bylo zjištěno, že v 80 % případů vstupuje sledovaný model v bloku jedna, v 15 % případů vstupuje v bloku po dvou, a zbylých 5 % případů jsou bloky od 3 do 10 kusů.

(je součástí tajné verze)

Graf 10: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu B
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

4.3.4.3 *Shrnutí*

Data pro modelový mix B vykazují zejména pro produkci denní a hodinovou poměrně vysokou nevyrovnanost, která spočívá opět jednak v nepřesném poměru sledovaného modelu k celku, kdy místo očekávaného poměru 1 ku 5 je v prosincové části dat poměr asi 1 ku 8. Vysoké výkyvy zaznamenané v hodinové produkci, mohou mít významný vliv na výsledky simulace. Zejména v kombinaci s analýzou velikosti bloku vyplývá požadavek na vysokou flexibilitu JIS dodavatele. I tato data proto budou při simulaci pravděpodobně způsobovat velké výkyvy ve sledovaných proměnných.

4.3.5 Analýza modelového mixu C

Pro modelový mix C je plánovaný poměr nového modelu vůči stávajícímu 1 ku 1, čili 50 % z celkové produkce tvoří sledovaný model. Postup analýzy je opět totožný s předchozími modelovými mixy, tudíž zůstává i struktura a názvy kapitol.

4.3.5.1 *Popisná statistika průchodů*

Týdenní produkce

Analýzováním týdenní produkce varianty C (viz příloha 13) bylo zjištěno, že rozpětí i směrodatná odchylka pro konkrétní sledovaný model se pohybují asi na trojnásobku hodnot pro celkovou produkci, ačkoli tvoří sledovaný model pouze polovinu celkové produkce. Z grafu je také patrné, že první a čtvrtý analyzovaný týden neodpovídají poměru 1 ku 1.

Denní produkce

I v tomto případě vykazují data modelového mixu C (viz příloha 14) vysokou rozkolísanost, jak je vidět z porovnání hodnot rozpětí a směrodatné odchylky pro celkovou produkci a samostatně pro sledovaný model.

Hodinová produkce

Jak již bylo zmíněno, největší vliv při krátkých intervalech mezi odvolávkami má nevyrovnanost v hodinové produkci.

(je součástí tajné verze)

Graf 11: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu C
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Stejně jako v datech předchozích mixů jsou v produkci daného modelu v modelovém mixu C opět v porovnání s celkovou produkcí vysoké hodnoty rozpětí a směrodatné odchylky.

Poslední analýzou pro modelový mix C byla analýza velikosti bloku.

4.3.5.2 *Analýza velikosti bloku*

(je součástí tajné verze)

Graf 12: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu C
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

V 50 % případů v modelovém mixu C vstupuje sledovaný model v bloku jedna. Dva kusy sledovaného modelu vstupují do systému hned za sebou v 25 % případů, 10 % tvoří blok po třech, nezanedbatelných 5 % tvoří blok po čtyřech a vyskytují se i bloky po 14 kusech. Jak již bylo v práci zmíněno, takto velké bloky mohou způsobovat problémy pro JIS dodavatele.

4.3.5.3 *Shrnutí*

Data pro modelový mix C vykazují opět vysokou nevyrovnanost, která spočívá jednak v nepřesném poměru produkce sledovaného modelu k celku, kdy místo očekávaného poměru 1 ku 1 je v prvním sledovaném týdnu prosincové části dat poměr asi 2 ku 3 a na konci období, tzn. v posledním sledovaném týdnu poměr opačný, tzn. 3 ku 2. Vysoké výkyvy zaznamenané v hodinové produkci, pravděpodobně ovlivní výsledky simulace.

5 Modelování a simulace

5.1 Model

Model byl vytvořen v simulačním software Plant Simulation, který je využíván pro podporu v rozhodování v dotčeném subjektu. K jeho vytvoření nebylo použito standardní knihovny prvků nýbrž knihoven VDA (viz kapitola 3.5.3.4.)

Jak bylo popsáno v teoretické části, lze proces modelování rozdělit do několika fází, z nichž v této práci je pozornost věnována zejména analýze dat, tvorbě modelu, experimentování a vyhodnocení výsledků experimentů). Výsledky analýzy systému jsou uvedeny v analytické části práce a nyní bude pozornost věnována fázi tvorby samotného modelu. Je velmi důležité si uvědomit, že cílem modelu není zachytit celou realitu (ani to prakticky nelze), nýbrž vystihnout ty skutečnosti, které nejvíce ovlivňují sledované veličiny. Každý model tedy obsahuje řadu zjednodušení.

5.1.1 Vytvoření modelu v Plant Simulation

V konkrétním vytvořeném modelu je uvažováno s několika zjednodušeními:

- Systém je vytvořen jako tlačný (push), což předpokládá, že je po celý čas dostatečný přísun výrobků. Je tak zajištěna neustálá maximální zaplněnost systému.
- Některé veličiny jako doba transportu dílů kamionem jsou stanoveny jako konstantní, ačkoli ve skutečnosti jejich hodnota kolem této konstanty pouze osciluje.
- V automatizované variantě je u automatického zásobníku uvažována nulová poruchovost.

Postup tvorby modelu je zachycen na schématu „Postup při tvorbě modelu (viz příloha 17). Byl rozdělen do několika kroků, jejichž sledu je podřízena struktura následujícího textu. Pro možnost nahlédnutí do jednotlivých fází tvorby modelu byl vytvořen krátký videosnímek zachycující jednotlivé etapy vytváření modelu (viz příloha 27).

5.1.1.1 Krok 1 – podmodel montážní linky

Montážní linka je reprezentována zdrojem výrobků, třemi prvky typu zásobník, které reprezentují zásobník (je součástí tajné verze). Důležitou sto čtvrtou pozici montážní linky tvoří prvek schopný spojovat několik objektů materiálového toku dohromady, což představuje montáž dílu výrobek. Zdroj je možné nastavit na produkci ideální sekvence, reálné (náhodné) sekvence (viz kapitola 4.3.3.2.) nebo vložit předdefinovanou ručně vytvořenou sekvenci.

Výstupem z této části modelu je sledovatelná *celková produkce montážní linky*.

5.1.1.2 Krok 2 – podmodely dodavatelů

Linky dodavatelů byly modelovány jako dva různé subsystémy („podmodely“), které je možné spustit jak samostatně, tak zapojené do systému (zřetězené s dalšími „podmodely“). Je-li model spuštěn samostatně, výstupem je pouze hodnota *celkové produktivity* (případně *průchodnosti* v určených časových intervalech) neovlivněná činností jiných částí celkového modelu. V případě zapojení do systému (zřetězení), přibývají další dvě proměnné, a to *aktuální počet nevyřízených objednávek*, jehož průběh lze sledovat jak v proměnné, tak v grafu, a také *propočet procentuálního podílu čekání dodavatele na další odvolávky (zakázky)*.

5.1.1.3 Krok 3 – vytvoření podmodelů dopravní cesty a jejích součástí

Podmodel dopravní cesty slouží k simulaci transportu dílů od Dodavatele 2 do zásobníku před dopravníkovým mostem. Je v něm možné pomocí proměnné nastavit aktuální počet kamionů přepravujících díly. K nakládání a vykládání dílů na příslušných místech byly vytvořeny další dva podmodely nakládací a vykládací rampy, které je podle potřeby možné použít v celkovém modelu i vícekrát (tedy vytvořit například u zásobníku více vykládacích ramp najednou).

5.1.1.4 Krok 4 – zásobníky dílů před dopravníkovým mostem

Podmodely představující zásobníky pro díly od obou dodavatelů mají v celkovém modelu velký význam. Právě určení kapacit těchto zásobníků pro různé varianty produkce je jedním z klíčových faktorů pro správné ekonomické zhodnocení a podání návrhu na nejvhodnější koncept. Sledovanými parametry v zásobnících jsou

proto *minimální i maximální dosažená obsazenost* v průběhu celého simulačního běhu i *grafické a číselné vyjádření minima a maxima obsazenosti* v jednotlivých dílčích časových intervalech.

5.1.1.5 Krok 5 – *podmodel dopravníkového mostu*

Na závěsy dopravníkového mostu jsou navěšovány ve správné sekvenci díly z obou zásobníků a dopravovány na montážní linku. Nejinak funguje také podmodel reprezentující tento dopravníkový most v simulačním modelu. Důležitou funkcí podmodelu je kontrola správnosti identifikačního čísla dílu vzhledem ke výrobku, kam je montován. Tím je ověřena správnost sekvence dílů v dopravníkovém mostu vzhledem k sekvenci na montážní lince. Pokud je tento podmodel propojen s ostatními podmodely, sleduje pomocí proměnných mimo jiné *procentuální podíl čekání na požadovaný díl od jednoho i druhého dodavatele na celkovém simulačním čase*.

Doposud byly vytvořeny pouze dílčí podmodely, které byly verifikovány a validovány, neboli bylo ověřeno, zda při daných parametrech odpovídají výstupy skutečnému stavu.

Průchodnost montážní linky byla požadována ve výši (je součástí tajné verze) za den při 93% využitelnosti. Výpočtem proto byla stanovena požadovaná průchodnost při 100% využitelnosti na (je součástí tajné verze) za den. Poté byl samostatný podmodel testován na obě varianty využitelnosti a byla potvrzeno, že skutečně „produkuje“ požadované množství výrobků. Analogicky bylo postupováno u všech ostatních vytvořených podmodelů.

Schéma tvorby modelu (viz příloha 17) naznačuje od kroku 6 další postup v tvorbě modelu, který zahrnuje zřetězení jednotlivých dílčích podmodelů, vytvoření logiky řízení modelu a taktéž vytvoření dalšího dílčího podmodelu s funkcí „ovládacího rozhraní“.

5.1.1.6 Krok 6 – *Propojení dílčích podmodelů a logika řízení*

Všechny vytvořené podmodely byly vloženy do hlavního modelu a vzájemně propojeny podle logického sledu tak, jak jimi prochází materiálový tok. Samotné zřetězení by však bylo málo. Byla vytvořena také logika řízení, která mimo jiné

zajišťuje správné odesílání odvolávek oběma dodavatelům a jejich následné zpracování příslušným dodavatelem, navěšování dílů ze zásobníků na dopravníkový most ve správné sekvenci a další nezbytné úkony pro korektní průběh simulace. Sledovanými výstupy systému byly:

1. *celková produktivita systému,*
2. *průchodnost systému v různých intervalech (hodinová, denní ...),*
3. *procentuální poměr doby čekání montážní linky na díl na celkovém čase,*
4. *průběh obsazenosti obou zásobníků před dopravníkovým mostem,*
5. *procentuální poměr doby čekání dodavatelů na odvolávky na celkovém čase,*
6. *další grafické i numerické výstupy.*

5.1.1.7 Krok 7 – vytvoření „ovládacího rozhraní“

V doposud popsaném modelu byla každá sledovaná proměnná součástí některého z podmodelů a bylo obtížné sledovat v průběhu simulace více proměnných najednou. Při experimentování s modelem musel být navíc po každém simulačním běhu a uložení dosažených výsledků model ručně přenastaven na hodnoty pro nový experiment.

Z důvodu usnadnění práce s modelem byl proto vytvořen další podmodel sloužící jako jakési ovládací rozhraní, kam byly přesunuty všechny sledované proměnné, a kam lze mimo jiné vkládat hodnoty pro více experimentů najednou. Po spuštění simulačního běhu pak program postupně provede všechny uložené experimenty a jejich výsledky uloží do vygenerovaných tabulek. Tyto pak stačí přenést například tabulkového editoru Excel a dále vyhodnocovat.

5.1.1.8 Krok 8 – vizuální stránka modelu

Kromě standardních předdefinovaných ikon umožňuje software vytvořit si pro každý objekt také vlastní ikony. Ačkoli na samotný průběh simulačního procesu nemá vizuální stránka modelu žádný vliv (procesně se nijak nezmění), přiblížení grafické podoby modelovaných prvků realitě podstatně zvyšuje výmluvnost celého modelu. Uživatelům modelu také výrazně usnadňuje orientaci v něm.

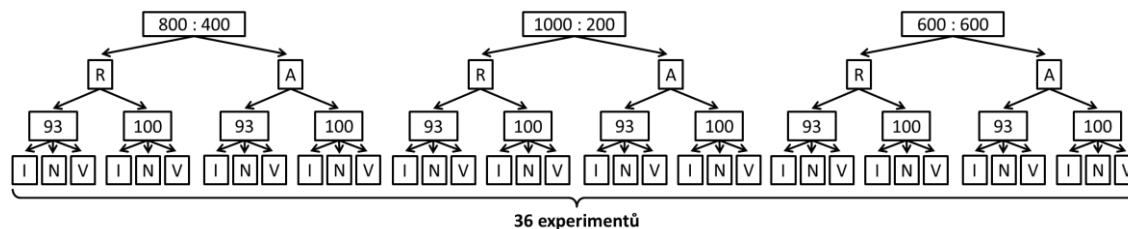
Pro prvky materiálového toku byly využity elementy z bibliotéky VDA, které byly pouze mírně graficky upraveny. Vzhled ikon jednotlivých podmodelů byl změněn tak, aby co nejvíce vypovídal o jejich funkci.

Po těchto úpravách byl model verifikován a validován jako celek a po dosažení očekávaných výsledků bylo přistoupeno k fázi experimentování.

5.1.2 Experimentování s modelem

V této fázi byly v modelu testovány předem připravené varianty různých kombinací vstupních hodnot. Pro lepší pochopení je dále v textu uveden příklad sestavení komplexu experimentů pro testování stability systému.

Každá ze tří různých variant produkčního mixu (viz analytická část), byla hodnocena v obou navrhovaných systémech, ručním i automatizovaném, což dá vzniknout šesti variantám experimentů. Všechny takto vytvořené varianty experimentů byly dále testovány při stoprocentní a devadesáti tří procentní využitelnosti, a to při sekvenci ideální, náhodné a vlastní, vytvořené podle analyzované datové řady (viz kapitola 4.3.)



Obrázek 21: Princip vytvoření experimentů
(vlastní zpracování)

Dohromady vzniklo tedy 36 variant nastavení parametrů modelu (experimentů), které byly zpracovány v editoru MS Excel a pomocí vytvořeného ovládacího rozhraní vloženy do modelu.

Každá varianta experimentu byla simulována 121 dní, z čehož jeden den byl stanoven jako doba náběhu systému. Hodnoty výsledkové tabulky v příloze (příloha 18) pro jednotlivé experimenty byly získány zprůměrováním získaných údajů za daný simulační běh.

5.1.2.1 Testování stability systému

Stabilita systému byla hodnocena s nastavením kapacity zásobníků pro oba dodavatele před montážní linkou na sto pozic.

V tabulce přílohy 19 jsou zachyceny jednotlivé variované zadané vstupní údaje pro experimentování. Varianty modelového mixu byly dány k ověření při zadání simulačního projektu, z nich byl tedy stanoven poměr pro generování výrobků. Ruční varianta se od automatizované liší především dobou vykládání plných palet z kamionu do zásobníku před dopravníkovým mostem a nakládání prázdných palet na kamion. Podstatný rozdíl je také v zásobníku samotném. Zatímco u ruční varianty se jedná „pouze“ o plochu, kam lze palety skládat pomocí manuálních zařízení, varianta automatizovaná představuje zásobník s dopravníkem, kam jsou palety automaticky vyskladňovány a dopravovány až k bodu navěšování na dopravníkový most.

Varianta se 100% využitelností všech linek byla zvolena z důvodu ověření průchodnosti systému, nastavení 93% využitelnosti všech linek představuje simulaci reálné skutečnosti. Tyto hodnoty byly převzaty ze zadání pro simulační projekt. Testované sekvence ideální a náhodná (viz kapitola 4.3.3.2.) byly generovány prvkem programu na základě vstupních parametrů, vlastní sekvence byla vytvořena podle analyzované datové řady (viz kapitola 4.3.)

Stabilita systému byla hodnocena na základě pěti parametrů:

- průchodnost montážní linky,
- čekání na Dodavatele1 před navěšováním⁸,
- čekání na Dodavatele2 před navěšováním¹⁴,
- průchodnost Dodavatele1,
- průchodnost Dodavatele2,

z nichž nejvyšší prioritu měla průchodnost montážní linky.

Modelový mix A

Pro ruční i automatizovanou variantu bylo prokázáno, že při využitelnosti 100% i 93 % a ideální sekvenci systém bez problémů dosahuje požadovaných hodnot. Například v ruční variantě s 93% využitelností sice asi v půl procentu celkového času simulace chyběly díly k navěšení od Dodavatele2, takto malé výkyvy v produkci dodavatele však dokázal „utlumit“ dopravníkový most. Ve variantách s vlastní sekvencí

⁸ čekání na dodavatele představuje podíl času, kdy nebylo možné navěšovat kvůli absenci dílů od daného dodavatele na celkovém simulačním času

dosahuje již v ruční variantě s 93% využitelností čekání na díly od Dodavatele2 téměř jednoho procenta, stále však bez vlivu na průchodnost montážní linky. Teprve náhodná sekvence s nejvyššími hodnotami extrémů způsobuje problémy v produkci dodavatelů, které se projevují pozdními dodávkami a snížením průchodnosti montážní linky přibližně (je součástí tajné verze) den. Jedním z hlavních důvodů jsou samozřejmě příliš velké výkyvy v modelovém mixu montážní linky, další, méně zřetelný důvod, bude objasněn na případu experimentů modelového mixu B.

Modelový mix B

I zde bylo potvrzeno, že automatizovaná i ruční varianta dosahují požadované průchodnosti jak při využitelnosti 100%, tak 93%, avšak s vlivem náhodnosti průchodnost systému rapidně klesá. Zdálo by se správné vyvodit z vysoké hodnoty čekání montážní linky na díl od Dodavatele2 prostý závěr, že je problém v kapacitě tohoto dodavatele, že i při drobnějším zakolísání poměru modelů v modelovém mixu jednoduše nemá dostatek prostředků, aby stačil vyrobit všechny zakázky. Při důkladnější analýze systému však bylo prokázáno, že hlavním problémem je příliš malé množství pozic mezi bodem A (odkud jsou odesílány odvolávky dodavatelům) a pozicí montáže příslušného dílu na montážní lince.

(je součástí tajné verze)

Obrázek 22: Obsazenost dílčích částí systému při modelovém mixu B
(vlastní zpracování)

Průměrný počet kusů modelu2 v systému po načtení je 41. Jestliže tedy Dodavatel2 vyrobí požadované kusy dle odvolávky, naloží je na kamion a odešle do zásobníku, zbude při průměrné zaplněnosti dopravníkového mostu (15 až 20 kusů dílu2) příliš málo zakázek pro Dodavatele2. Tento brzy všechny zakázky vyrobí a pak musí čekat, než mu nějaká další přijde. Pak ale nastane situace, kdy po dlouhé odmlce přijde větší množství zakázek, které Dodavatel2 nestihne dostatečně rychle vyrobit, a zastaví tak tok dílů na dopravníkový most. Jakmile Dodavatel1 zaplní svůj zásobník Z1, je donucen také zastavit. Tato časová prodleva však způsobí, že přijde-li větší množství zakázek zase jemu, nestihne je dostatečně rychle vyrobit, a tak se nevyrovnanost přelévá z jednoho dodavatele na druhého a narušuje plynulost materiálového toku vedoucí ke snížení průchodnosti montážní linky.

Pro realizaci tohoto modelového mixu bylo doporučeno zvýšit počet pozic na odvolávku. Určení doporučeného počtu pozic se věnuje kapitola 5.1.2.2. Podle zadání

simulačního projektu bylo dále pokračováno s experimenty při současném nastavení systému, jak ale bude možné vidět dále, není možné v tomto modelovém mixu za daného stavu systému dosahovat požadovaných výsledků.

Z výsledků simulací pro tento modelový mix byl vyvozen důležitý závěr, který u výsledků pro ostatních dva modelové mixy není tak patrný, a to že automatizovaná varianta má díky o málo kratšímu času potřebnému na dopravení dílu z kamionu až k navěšení na závěs dopravníkového mostu schopnost lépe vyrovnávat velké výkyvy v produkci Dodavatele2.

Modelový mix C

Nejuspokojivějších výsledků bylo dosaženo v modelovém mixu C, kdy žádná z testovaných variant nevykazovala známky nestability. Lze tak mimo jiné usuzovat na skutečně zásadní vliv počtu pozic mezi bodem odvolávky a místem montáže dílu na výrobek, neboť je v modelovém mixu C tento vliv nejméně patrný.

I zde bylo sice vysledováno malé procento čekání na díly od Dodavatele2 zejména v ruční variantě, tyto drobné výkyvy však byly eliminovány v dopravníkovém mostu.

5.1.2.2 Testování vlivu počtu pozic mezi bodem odesílání odvolávky a pozicí montování dílu

Aby byl prokázán vliv počtu pozic mezi bodem odesílání odvolávky a stanicí, kde jsou díly montovány na výrobek, bylo vytvořeno několik variant experimentů pro modelový mix B (přesné zadání variant viz levá část tabulky přílohy 20A).

Ve všech definovaných experimentech byl jednoznačně prokázán pozitivní vliv zvyšování počtu pozic mezi bodem odvolávky a pracovištěm montáže sledovaného dílu na výrobek. Byla zaznamenána rostoucí hodnota průchodnosti montážní linky a zároveň klesající procento čekání na díly od Dodavatele2 (viz příloha 20B). Z průběhu obou funkcí bylo doporučeno pro variantu modelového mixu B zvýšit počet pozic mezi bodem odvolávky a montážním pracovištěm sledovaného dílu na (je součástí tajné verze).

5.1.2.3 Testování vlivu počtu pozic v zásobníku Dodavatele2 před dopravníkovým mostem

V této fázi experimentování byla hlavní pozornost věnována vlivu počtu pozic v zásobníku na díly od Dodavatele2 před dopravníkovým mostem. Kromě průchodnosti montážní linky bylo sledováno kolísání zásobníku Z_D2 před dopravníkovým mostem⁹ a čekání Dodavatele2 na odvolávku¹⁰. Nastavení simulačních experimentů je vysledovatelné z levé části tabulky přílohy.

Pro modelový mix A bylo prokázáno, že v ruční i automatizované variantě je dostačujících 10 pozic v zásobníku pro dosažení cílové průchodnosti montážní linky. Ruční varianta sice vykazuje vyšší hodnoty rozkolísanosti obsazenosti zásobníku, jak je vidět v tabulce v příloze 21, na montážní linku má však tato skutečnost mizivý vliv.

U modelového mixu B bylo již předchozími simulacemi prokázáno, že ve stávajícím nastavení systému není možné cílové průchodnosti montážní linky dosáhnout. Byla však simulována s cílem vysledovat stabilitu systému při použití ruční a automatizované varianty s různými počty pozic v zásobníku. Z výsledků vyplynulo, že pro 10, 20 i 30 pozic v zásobníku je dosažená průchodnost montážní linky stále stejná. Vyvozený závěr tedy zní, že „úzkým místem“ celého procesu není sledovaný zásobník. Největší vliv na stabilitu systému má počet pozic za bodem odvolávky (viz kapitola 5.1.2.2.)

Ve sloupcích označených „průchodnost montážní linky“ pro variantu ruční i automatizovanou jsou stejnou barvou vyznačena vždy dvě čísla, která se vztahují k témuž nastavení modelu s výjimkou nastavení právě dané varianty. Automatizovaná varianta je podle výsledků experimentů nepatrně flexibilnější, lze však při současných podmínkách považovat obě varianty za rovnocenné.

Na výstupech experimentů (příloha 21) s modelovým mixem C je demonstrován rozdíl mezi kolísáním obsazenosti zásobníku pro díly od Dodavatele2 před dopravníkovým mostem ve variantě ruční a automatizované. Každá dvě stejně vybarvená pole znamenají podobně jako v předchozím srovnávání hodnoty při shodném nastavení (vyjma právě nastavení ruční nebo automatizované varianty). Z výsledků testů byla jako stabilnější určena automatizovaná varianta.

⁹ průměrná hodnota rozdílu mezi maximální a minimální denní obsazeností zásobníku dílů od Dodavatele2 před dopravníkovým mostem v průběhu simulačního běhu.

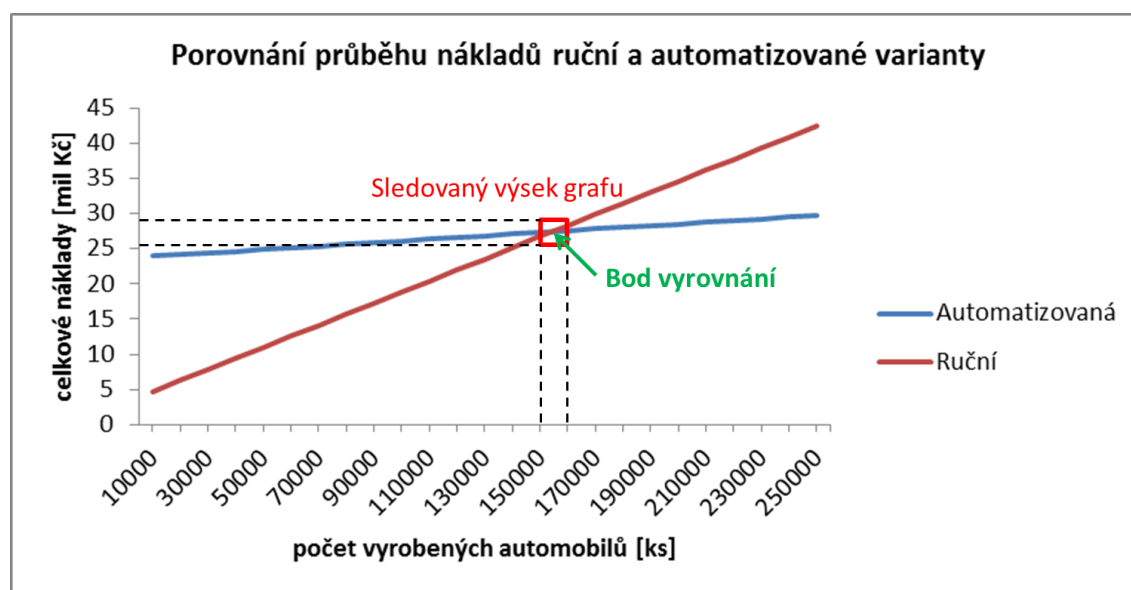
¹⁰ podíl času, kdy Dodavatel2 neměl žádné zakázky k výrobě a byl nucen čekat, na celkovém času simulačního běhu

6 Ekonomické zhodnocení

Obě varianty (ruční i automatizovaná) byly hodnoceny z hlediska nákladů, k hodnocení bylo přistupováno s ohledem na tři možné scénáře vývoje poptávky po nabíhající sledovaném modelu – pesimistický, reálný a optimistický. Pro porovnání obou variant byly sestaveny jejich nákladové funkce, a tyto porovnávány početně i graficky.

Stanovení nákladových funkcí proběhlo na základě získaných údajů týkajících se realizace ruční i automatizované varianty (viz příloha 22A). Hodnoty fixních a variabilních nákladů bylo v závislosti na daném scénáři nutné přepočítat (viz příloha 22B). Podrobněji budou jednotlivé scénáře popsány níže.

Po stanovení nákladových funkcí a jejich vzájemném proložení byly nalezeny body vyrovnání (množství vyrobených výrobků, při němž jsou celkové vynaložené náklady v obou variantách shodné). Na následujícím grafu je znázorněn bod vyrovnání a výsek, který byl u grafických výstupů pro řešení jednotlivých scénářů sledován.



Graf 13: Porovnání průběhu nákladů ruční a automatizované varianty
(vyhodnoceno v aplikaci APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Konkrétní výstupy jsou uvedeny jako příloha 23, 24 a 25 a jsou okomentovány v podkapitolách týkajících se daných konkrétních scénářů. Správnost získaných výsledků byla ověřena výpočtem (v každém scénáři byla nákladová funkce

automatizované varianty položena do rovnosti s nákladovou funkcí ruční varianty a vypočten bod vyrovnání).

V dalším hodnocení bylo použito propočtů na bázi doby návratnosti, kdy byla vyjádřena doba, po jejímž uplynutí se stane automatizovaná varianta nákladově výhodnější než ruční varianta. Tento propočet vyšel z v předchozím kroku určeného bodu vyrovnání obou nákladových funkcí, kdy tyto získané údaje byly vyděleny roční produkcí daného modelu. Výsledná hodnota značí minimální počet let, po které musí výroba probíhat, aby byla z nákladového hlediska výhodnější realizace varianty automatizované (viz příloha 26).

Predikovaný vývoj poptávky po automobilech Škoda byl pro účely práce stanoven na základě údajů z výroční zprávy za rok 2012. Z ní je možné vyčíst, že pro německý trh očekává firma mírný pokles, ve zbytku Evropy stagnaci ve smyslu očekávaných prodejů shodných s rokem 2012 a na americkém trhu je očekáván mírný růst poptávky.

V práci je uvažováno přizpůsobení počtu směn podle očekávané produkce v daném scénáři, což mimo jiné ovlivní variabilní náklady. (ve smyslu různého poměru standardních směn a směn s příplatky nočními nebo víkendovými). Výpočet nákladů na jednoho operátora je vyčíslen v následující tabulce:

náklady na jednoho operátora (při 15-ti směnném provozu)		
	měsíčně (průměr)	ročně
mzdové náklady	28 665,00 Kč	401 310,00 Kč
<i>hrubá mzda</i>	<i>19 600,00 Kč¹¹</i>	<i>274 400,00 Kč</i>
<i>odvody za zaměstnance</i>	<i>6 860,00 Kč</i>	<i>96 040,00 Kč</i>
<i>příplatky za noční/víkendové směny</i>	<i>2 205,00 Kč¹²</i>	<i>30 870,00 Kč</i>
penzijní prožitky	8 600,00 Kč ¹³	103 200,00 Kč
školení	2 000,00 Kč	24 000,00 Kč
ostatní personální náklady	5 950,00 Kč ¹⁴	71 400,00 Kč
celkem	45 215,00 Kč	599 910,00 Kč

Tabulka 1: Propočet nákladů na jednoho operátora při 15-ti směnném provozu
(vlastní zpracování)

Celkem bude v ruční variantě potřeba 9 operátorů, což znamená roční personální náklady ve výši 5 399 190,00 Kč. Tato složka celkových ročních provozních nákladů

¹¹ použito z aktuálních mzdových tarifů dotčeného subjektu.

¹² za noční/víkendové směny je příplatek 25% ze mzdy

¹³ určeno propočtem z celkových nákladů na penzijní prožitky za rok 2012 (viz výroční zpráva 2012)

¹⁴ určeno propočtem z celkových ostatních personálních nákladů za rok 2012 (viz výroční zpráva 2012)

bude variována podle hodnocené varianty (reálná, pesimistická, optimistická) pro modelový mix A, B i C.

6.1 Modelový mix A

Reálná roční produkce sledovaného modelu na dané montážní lince byla vypočtena jako součin efektního časového fondu ve dnech za daný rok a plánované denní produkce tohoto modelu na montážní lince (je uvažován třísměnný provoz od pondělí do pátku). V letech 2013 i 2014 je celkem 252 pracovních dnů, po odečtení plánované celozávodní dovolené bylo uvažováno 235 pracovních dnů za rok. Konkrétní hodnoty roční produkce pro všechny varianty jsou:

(je součástí tajné verze)

(viz také příloha 26).

Hodnota celkové roční produkce v pesimistické variantě byla určena o 15% nižší, než uvažovaná reálná. Procentuální snížení bylo stanoveno na základě průměrného poklesu prodejů modelů vyráběných v ČR za duben roku 2013 oproti stejnému měsíci loňského roku.

Podle údajů z výroční zprávy za rok 2012 ohledně předpokládané stagnace na evropském automobilovém trhu a vzhledem k faktu, že se jedná o nabíhající model, byla v optimistické variantě stanovena celková roční produkce daného modelu o 6% vyšší než uvažovaná reálná produkce.

Na základě všech získaných údajů bylo tedy pro modelový mix A stanoveno, že z hlediska celkových nákladů na realizaci se automatizovaný systém proti ručnímu vyplatí po době užívání:

- V reálném scénáři - **1,65 roku (20 měsíců)**,
- v pesimistickém scénáři – **1,94 roku (23 měsíců)**,
- v optimistickém scénáři – **1,57 roku (19 měsíců)**.

Vzhledem k tomu, že je od systému požadována návratnost do 2 let, bylo pro všechny tři scénáře doporučeno realizování automatizované varianty. I z hlediska pružnosti jednotlivých systémů a jejich stability prokázala automatizovaná varianta v simulacích uspokojivější hodnoty.

6.2 Modelový mix B

Velikost roční produkce daného modelu byla stanovena analogicky k modelovému mixu A. V této variantě byly určeny hodnoty roční produkce daného modelu na:

(je součástí tajné verze)

(viz příloha 26).

Z hlediska celkových nákladů na realizaci se v této variantě modelového mixu automatizovaný systém proti ručnímu vyplatí po době užívání:

- V reálném scénáři – **3,29 roku (39 měsíců)**,
- v pesimistickém scénáři – **3,87 roku (46 měsíců)**,
- v optimistickém scénáři – **3,13 roku (37 měsíců)**.

Uvedené výpočty slouží pouze pro představu, neboť bylo již v simulační fázi projektu prokázáno, že za současného nastavení některých parametrů konceptu není možné uspokojivě uzásobit linku ani ruční ani automatizovanou variantou.

6.3 Modelový mix C

Ve stanovení celkové roční produkce daného modelu u modelového mixu C bylo postupováno shodně s předešlými dvěma variantami. Hodnoty roční produkce daného modelu byly tentokrát stanoveny na:

(je součástí tajné verze)

(souhrnně v příloze 26).

Z hlediska celkových nákladů na realizaci se v této variantě modelového mixu automatizovaný systém proti ručnímu vyplatí po době užívání:

- V reálném scénáři – **1,1 roku (13 měsíců)**,
- v pesimistickém scénáři – **1,29 roku (15 měsíců)**,
- v optimistickém scénáři – **1,04 roku (12 měsíců)**.

Z pohledu času se počáteční náklady vynaložené na automatizovanou variantu při tomto modelovém mixu vrátí nejrychleji. Pro všechny tři scénáře dojde k vyrovnání celkových nákladů po tak krátké době, že byla pro tento modelový mix bez výhrad doporučena k realizaci automatizovaná varianta zásobníku na díly od Dodavatele2.

6.4 Návrh vhodné varianty

Jako stabilnější a z hlediska plánované životnosti projektu nákladově výhodnější byla stanovena automatizovaná varianta, která byla doporučena pro realizaci jak v případě modelového mixu A, tak C, a to pro reálný optimistický i pesimistický scénář vývoje poptávky po daném modelu.

Pro modelový mix B byl podán návrh na zvýšení počtu pozic mezi bodem A v zásobníku a pracovištěm montujícím sledovaný díl na (je součástí tajné verze). V opačném případě nemůže být dosaženo požadovaných výsledků ani s jednou variantou zavážení sledovaného dílu.

7 Závěr

Prostřednictvím analýzy současného stavu byly získány potřebné informace pro popsání současného konceptu zavážení sledovaného dílu na montážní linku. Analýzou dat vytvořených pro tři prognózované varianty modelového mixu (A, B a C) byl vytvořen vstup pro simulační modely. Na základě získaných informací v analytické fázi byl následně vytvořen simulační model v programu Plant Simulation a po jeho verifikaci byla provedena řada experimentů pro ověření stability systému a testování vlivu počtu pozic v zásobnících na celkovou průchodnost montážní linky. Z dosažených výsledků byl za pomoci ekonomického zhodnocení vyvozen návrh na vhodnou variantu při zachování vstupních parametrů.

Přínosy práce jsou:

- vytvoření modelu v programu Plant Simulation s použitím knihovny VDA prvků,
- vytvoření univerzálního rozhraní pro práci s experimenty v knihovně VDA prvků,
- rozšiřitelnost modelu a jeho použitelnost k řešení dalších projektů v dané oblasti,
- zjištění vlivu sledovaných veličin na průchodnost systému a definování podmínek, při kterých může být cílových hodnot dosaženo,
- ekonomické zhodnocení návrhů pro optimistickou, reálnou i pesimistickou variantu.

Cíle práce bylo dosaženo, v práci byl podán návrh na zvolení automatizované varianty, pro kterou byla v simulacích prokázána vyšší flexibilita i stabilita, a jejíž realizace se z hlediska nákladů vůči realizaci ruční varianty vyplatí ve všech scénářích pro modelový mix C i A. V případě modelového mixu B bylo zjištěno, že při současném nastavení systému není možné dosahovat požadované průchodnosti montážní linky, a bylo proto na základě experimentů doporučeno zvýšit počet pozic mezi bodem odvolávky a pracovištěm montování sledovaného dílu (je součástí tajné verze).

8 Zdroje

8.1 Literatura

- [1] BANGSOW, S. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and Simtalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer, 2010, 297 s. ISBN 36-420-5074-3.
- [2] BASL, J. *Podnikové informační systémy: podnik v informační společnosti*. 2., výrazně přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2008, 283 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2279-5.
- [3] BASL, J., MAJER, P., ŠMÍRA, M. *Teorie omezení v podnikové praxi : zvyšování výkonnosti podniku nástroji TOC*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 213 s. ISBN 80-247-0613-X.
- [4] DLASK, Petr. *Modelování při řízení*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011, 175 s. ISBN 978-80-7357-704-9.
- [5] DLOUHÝ, M., et al. *Simulace podnikových procesů*. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2007. 201 s. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [6] GROS, I. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2003, 432 s. ISBN 80-247-0421-8.
- [7] KARPETA, V., ŠTOČEK, J. *Uživatelský manuál: Analyzer of production processes*, 2012, 69.
- [8] KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. V Praze: C. H. Beck, 2009, 137 s. C. H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7400-119-2.
- [9] LIKER, J. K. MEIER, D. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004, 330 s. ISBN 00-713-9231-9.

- [10] LIKER, J. K. MEIER, D.. *The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York: McGraw-Hill, 2006, 475 p. ISBN 00-714-4893-4.
- [11] LENORT, R. *Průmyslová logistika*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 98 s. ISBN 978-80-248-2584-7.
- [12] MANLIG, F. Počítačová simulace výrobních procesů. *MM: Průmyslové spektrum*. říjen 2000, č. 10, s. 30-32. ISSN 1212- 2572.
- [13] PERNICA, P. *Logistika pro 21. století: (supply chain management)*. Vyd. 1. Praha: Radix, 2005, 569 s. ISBN 80-860-3159-4.
- [14] ŘEPA, V. *Ponikové procesy : Procesní řízení a modelování*. 2., aktualizované a rozšířené vydání. Praha : Grada Publishing a.s., 2007. 288 s. ISBN 978-80-247-2252-8.
- [15] TOMEK, G. VÁVROVÁ, V. *Řízení výroby*. 2. vyd. Praha: Grada, 2000, 407 s. ISBN 80-716-9955-1.
- [16] STADLER, H. KILGER, CH. *Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software and case studies*. 3rd ed. Berlin: Springer, 2005, 512 s. ISBN 35-402-2065-8.
- [17] SVOZILOVÁ, A. *Zlepšování podnikových procesů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 223 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [18] ŠTOČEK, J. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické, 2005. 114 s. ISBN 80-214-2885-6. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky. Vedoucí práce Doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.

- [19] ŠTOČEK J., KARPETA, V. Systémová analýza dat o průchodu zakázky evidenčními body. *AUTOMA: Časopis pro automatizační techniku*. červen 2010, 6., s. 8 – 10.
Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41373.
- [20] VODÁČEK, L. *Informační management: Pojetí, poslání a aplikace*. 1. vyd. Praha: Management Press, 1997, 146 s. ISBN 80-859-4335-2.

8.2 Elektronické zdroje

- [21] COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. *We are CSCMP* [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://cscmp.org/about-us/we-are-cscmp>.
- [22] DANĚK, J. *Využití simulace jako inženýrského nástroje během životního cyklu výrobků a procesů*. [cit. 2013-02-15] Dostupný z WWW: <http://www2.humusoft.cz/www/pub/witness/ppt/inovacia2002/sld008.htm>.
- [23] NĚMEC, F. Koncepce celkových nákladů. Quality management a uvádění výrobků na trh [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.qmprofi.cz/33/koncepce-celkovych-nakladu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EkvMWYcqRFLNoTHwJGGOYTaMB8q2Z8oGSQ/?sekce=34>.
- [24] SIEMENS PLM SOFTWARE. *Plant Simulation: Siemens PLM software* [online]. [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml
- [25] SCHWOB, R., CHOC, D. *Just-in-sequence aneb na rudé auto rudá zrcátka* [online]. prosinec 2007. Dostupné z: <http://www.aimagazine.cz/vyroba/60-just-in-sequence-aneb-na-rude-auto-ruda-zrcatka>.

- [26] internetové stránky dotčeného subjektu
- [27] výroční zpráva dotčeného subjektu za rok 2012
- [28] VAŘURA, R. Plánování výroby metodou MRP - zkušenosti z praxe. *IT Systems*. Brno: CCB s.r.o, 2002, č. 9, s. 51-54. [cit. 2013-04-15] Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/planovani-vyroby-metodou-mrp-zkusenosti-z-praxe.htm>.
- [29] WIGLASZ, O. *WITNESS - Nástroj pro podporu manažerského rozhodování* [online]. 1999. [cit. 2013-03-20] Dostupné z: http://www.humusoft.cz/archived/pub/witness/syst9903/sim_rp.htm.

9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obrázek 1: Princip procesu vstup-výstup	13
Obrázek 2: Vztah managementu a fyzického procesu při řízení výroby	14
Obrázek 3: Vztah řízení výroby a logistiky	15
Obrázek 4: Příklad logistického řetězce.....	17
Obrázek 5: Jak „úzké místo“ určuje velikost průtoku v podniku.....	19
Obrázek 6: Push princip.....	20
Obrázek 7: Pull princip	21
Obrázek 8: Systém JIS	23
Obrázek 9: Systém JIS	27
Obrázek 10: Postup při tvorbě modelu.....	28
Obrázek 11: Rozdělení modelů podle typu.....	29
Obrázek 14: Stručné schéma zásobování jedním dodavatelem.....	37
Obrázek 15: Stručné schéma zásobování dvěma dodavateli (vlastní zpracování).....	38
Obrázek 16: Schéma zásobování dvěma dodavateli	39
Obrázek 17: Získání vstupních dat metodou analogie	41
Obrázek 18: Přehled průchodů evidenčním bodem	44
Obrázek 19: Ukázka rozboru výstupu z APP – krok 1	45
Obrázek 20: Ukázka rozboru výstupu z APP – krok 2	45
Obrázek 21: Příklady sekvence 1:2.....	51
Obrázek 22: Vliv časového období na určení poměru v modelovém mixu	51
Obrázek 23: Princip vytvoření experimentů	60
Obrázek 24: Obsazenost dílčích částí systému při modelovém mixu B	62

Grafy

Graf 1: Analýza týdenní produkce v období 10. 12. 2012 - 18. 1. 2013 - upraveno.....	47
Graf 2: Analýza denní produkce v období 10. 12. 2012 - 23. 1. 2013 - upraveno.....	47
Graf 3: Analýza hodinové produkce v období 12. 12. 2012 - 14. 1. 2013 - upraveno.....	48
Graf 4: Analýza doby mezi průchody v období 10. 12. 2012 - 23. 1. 2013.....	48
Graf 5: Analýza doby mezi průchody v období 3. 1. 2012 - 23. 1. 2013.....	49
Graf 6: Analýza doby mezi průchody v období 10. 12. 2012 - 23. 12. 2013.....	49
Graf 7: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu A.....	50
Graf 8: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu A	52
Graf 9: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu B.....	53
Graf 10: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu B	54
Graf 11: Analýza hodinové produkce sledovaného modelu u modelového mixu C.....	55
Graf 12: Analýza velikosti bloku sledovaného modelu pomocí APP u modelového mixu C	55
Graf 13: Porovnání průběhu nákladů ruční a automatizované varianty	65

Tabulky

Tabulka 1: Propočet nákladů na jednoho operátora při 15–ti směnném provozu	66
--	----

10 Přílohy

přílohy 1 – 4 jsou součástí tajné verze

Příloha 1: Schéma zásobování jedním dodavatelem

Příloha 2: Analýza týdenní produkce v období 10. 12. 2012 - 18. 1. 2013

Příloha 3: Analýza denní produkce v období 10. 12. 2012 - 23. 1. 2013

Příloha 4: Analýza hodinové produkce v období 10. 12. 2012 – 18. 1. 2013

Příloha 5: Časové ohrazení týdenní

Označení	Časové rozpětí			
	OD		DO	
	Datum	Čas	Datum	Čas
121210-14	10.12.2012	0:00:00	14.12.2012	23:59:59
121217-21	17.12.2012	0:00:00	21.12.2012	23:59:59
130107-11	7.1.2013	0:00:00	11.1.2013	23:59:59
130114-18	14.1.2013	0:00:00	18.1.2013	23:59:59

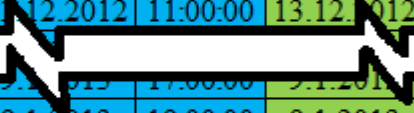
(použito z aplikace APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Příloha 6: Časové ohrazení denní

Označení	denní			
	Časové rozpětí			
	OD		DO	
	Datum	Čas	Datum	Čas
121210	9.12.2012	22:10:00	10.12.2012	22:10:00
121211	10.12.2012	22:10:00	11.12.2012	22:10:00
121212	11.12.2012	22:10:00	12.12.2012	22:10:00
121213	12.12.2012	22:10:00	13.12.2012	22:10:00
121214	13.12.2012	22:10:00	14.12.2012	22:10:00
121217	14.12.2012	22:10:00	17.12.2012	22:10:00
121218	17.12.2012	22:10:00	18.12.2012	22:10:00
121219	18.12.2012	22:10:00	19.12.2012	22:10:00
121220	19.12.2012	22:10:00	20.12.2012	22:10:00
121221	20.12.2012	22:10:00	21.12.2012	22:10:00
130108	7.1.2013	22:10:00	8.1.2013	22:10:00
130109	8.1.2013	22:10:00	9.1.2013	22:10:00
130110	9.1.2013	22:10:00	10.1.2013	22:10:00
130111	10.1.2013	22:10:00	11.1.2013	22:10:00
130114	11.1.2013	22:10:00	14.1.2013	22:10:00
130115	14.1.2013	22:10:00	15.1.2013	22:10:00
130116	15.1.2013	22:10:00	16.1.2013	22:10:00
130117	16.1.2013	22:10:00	17.1.2013	22:10:00
130121	18.1.2013	22:10:00	21.1.2013	22:10:00
130123	22.1.2013	22:10:00	23.1.2013	22:10:00

(použito z aplikace APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

Příloha 7: Časové ohraničení hodinové

hodinová				
Označení	Časové rozpětí			
	OD		DO	
	Datum	Čas	Datum	Čas
12121208	12.12.2012	7:00:00	12.12.2012	8:00:00
12121210	12.12.2012	9:00:00	12.12.2012	10:00:00
12121212	12.12.2012	11:00:00	12.12.2012	12:00:00
12121214	12.12.2012	13:00:00	12.12.2012	14:00:00
12121215	12.12.2012	14:00:00	12.12.2012	15:00:00
12121216	12.12.2012	15:00:00	12.12.2012	16:00:00
12121218	12.12.2012	17:00:00	12.12.2012	18:00:00
12121220	12.12.2012	19:00:00	12.12.2012	20:00:00
12121308	13.12.2012	7:00:00	13.12.2012	8:00:00
12121310	13.12.2012	9:00:00	13.12.2012	10:00:00
12121312	13.12.2012	11:00:00	13.12.2012	12:00:00
				
13010920	9.1.2013	19:00:00	9.1.2013	20:00:00
13011008	10.1.2013	7:00:00	10.1.2013	8:00:00
13011010	10.1.2013	9:00:00	10.1.2013	10:00:00
13011012	10.1.2013	11:00:00	10.1.2013	12:00:00
13011014	10.1.2013	13:00:00	10.1.2013	14:00:00
13011015	10.1.2013	14:00:00	10.1.2013	15:00:00
13011016	10.1.2013	15:00:00	10.1.2013	16:00:00
13011018	10.1.2013	17:00:00	10.1.2013	18:00:00
13011020	10.1.2013	19:00:00	10.1.2013	20:00:00
13011408	14.1.2013	7:00:00	14.1.2013	8:00:00
13011410	14.1.2013	9:00:00	14.1.2013	10:00:00
13011412	14.1.2013	11:00:00	14.1.2013	12:00:00
13011414	14.1.2013	13:00:00	14.1.2013	14:00:00
13011415	14.1.2013	14:00:00	14.1.2013	15:00:00
13011416	14.1.2013	15:00:00	14.1.2013	16:00:00
13011418	14.1.2013	17:00:00	14.1.2013	18:00:00
13011420	14.1.2013	19:00:00	14.1.2013	20:00:00

(použito z aplikace APP – kapitola 3.5.3.2, upraveno pro vlastní potřeby)

přílohy 8 – 16 jsou součástí tajné verze

Příloha 8: Analýza týdenní produkce sledovaného modelu u varianty A

Příloha 9: Analýza denní produkce sledovaného modelu u varianty A

Příloha 10: Analýza velikosti bloku druhého modelu u varianty A

Příloha 11: Analýza týdenní produkce sledovaného modelu u varianty B

Příloha 12: Analýza denní produkce sledovaného modelu u varianty B

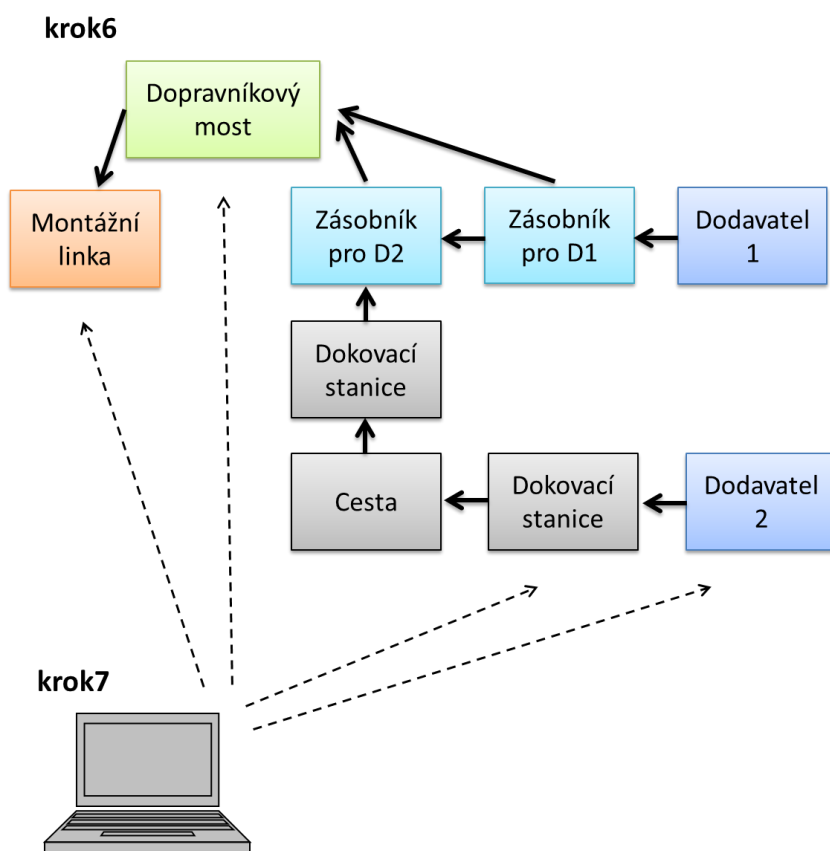
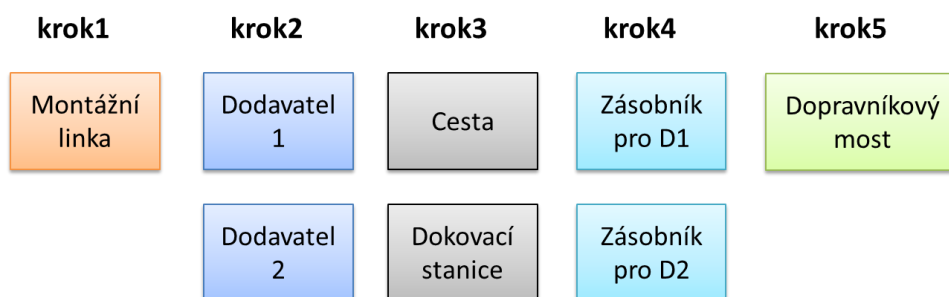
Příloha 13: Analýza velikosti bloku druhého modelu u varianty B

Příloha 14: Analýza týdenní produkce sledovaného modelu u varianty C

Příloha 15: Analýza denní produkce sledovaného modelu u varianty C

Příloha 16: Analýza velikosti bloku druhého modelu u varianty C

Příloha 17: Postup tvorby modelu



přílohy 18 – 28 jsou součástí tajné verze

Příloha 18: Hodnoty nastavení modelu

Příloha 19: Výstup experimentů pro testování stability systému

Příloha 20A: Výstup experimentů pro testování stability při modelovém mixu 1000:200 s různým počtem pozic od bodu odvolávky

Příloha 20B: Výstup experimentů pro testování stability při modelovém mixu 1000:200 s různým počtem pozic od bodu odvolávky

Příloha 21: Výstup experimentů pro testování systému při různém počtu pozic v zásobníku Z_D2

Příloha 22A: Uvažované náklady na výstavbu a provoz obou variant zásobníků

Příloha 22B: Vytvoření nákladových funkcí pro jednotlivé varianty a scénáře

Příloha 23: Porovnání nákladů na ruční a automatizovanou variantu v případě reálného scénáře

Příloha 24: Porovnání nákladů na ruční a automatizovanou variantu v případě reálného scénáře

Příloha 25: Porovnání nákladů na ruční a automatizovanou variantu v případě reálného scénáře

Příloha 26: Vyhodnocení bodu vyrovnání pro jednotlivé varianty

Příloha 27: Konkrétní poměr modelů v denní produkci

Příloha 28: Proces tvorby simulačního modelu

obsah přiloženého CD (součást tajné verze)